

Physikalisches Grundpraktikum I

Versuch O10, Newtonsche Ringe

durchführt am 09.6.05
von Marian Zeyen
und Markus Heiny

Gliederung:

1. Aufgabenstellung
2. Grundlagen zum Versuch
3. Versuchsaufbau
4. Messergebnisse
5. Messunsicherheiten
6. Zusammenfassung und Diskussion
7. Literatur

1. Aufgabenstellung

1.1 Durch Interferenz des Lichtes einer Natriumdampflampe ($\lambda = 589 \text{ nm}$) an der Luftschicht zwischen einer sphärischen Linsenfläche und einer Planglasplatte werden Newtonsche Ringe erzeugt. Die Durchmesser von mindestens 10 dunklen Ringen der Ordnung $k \geq 2$ sind zu messen.

1.2 Das Quadrat des Ringradius rk^2 ist als Funktion der Interferenzordnung k graphisch darzustellen. Der Krümmungsradius R der Linsenfläche ist durch lineare Regression zu bestimmen.

1.3 Auf gleichem Wege sind unter Benutzung des Krümmungsradius R aus 1.2 für 2 Farbfilter die Wellenlängen des hindurch tretenden Lichtes zu ermitteln. Die beiden Funktionen $rk^2 = f(k)$ sind in das Diagramm für Na-Licht nach 1.2 einzuzeichnen.

1.4 Für Filterlicht sind die höchste nachweisbare Interferenzordnung k_{\max} sowie die Dicke der Luftschicht und der Gangunterschied am Orte des Ringes der Ordnung k_{\max} zu bestimmen. Daraus sind die Kohärenzlänge Λ und die spektrale Bandbreite $\Delta\lambda$ des Filterlichtes abzuschätzen.

2. Grundlagen zum Versuch

Die Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz wird als Interferenz bezeichnet. In einem betrachteten Raumpunkt addieren sich die Schwingungen. Trifft ein Wellenberg auf ein Wellental, so löschen sich beide Wellen gegenseitig aus (Interferenzminimum), trifft Wellenberg auf Wellenberg, bzw. Wellental auf Wellental, so verstärken sich die Schwingungen (Interferenzmaximum). Ob es zu einer Auslöschung oder Verstärkung kommt, hängt von der Differenz der Wellenwege ab, die man Gangunterschied ΔL nennt. Sollen sich Wellen maximal verstärken, so muss ΔL ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge sein, damit Wellenberg auf Wellenberg, bzw. Wellental auf Wellental trifft.

$$\text{Interferenzmaximum: } \Delta L = k\lambda \quad k=1,2,\dots,n \quad (1)$$

Für eine maximale Schwächung müssen sich die beiden Wellen um eine halbe Wellenlänge unterscheiden, so dass Wellenberg auf Wellental trifft.

$$\text{Interferenzminimum: } \Delta L = (k+1/2)\lambda \quad k=1,2,\dots,n \quad (2)$$

In diesem Versuch wird das Licht von der Vorder- und Rückseite einer dünnen Luftschicht der Dicke d , die sich zwischen der Glassplatte und der sphärischen Linse befindet, reflektiert und interferiert anschließend.

$$\text{Für den Gangunterschied } \Delta L \text{ gilt: } \Delta L = 2d + \lambda/2 \quad (3)$$

wobei $\lambda/2$ ein Phasensprung ist, der wegen der Reflexion an einem dichteren Medium, also der Glasplatte, auftritt.

Für den Radius r der Newtonschen Ringe gilt auf Grund geometrische Gesetze im rechtwinkligen Dreieck:

$$r^2 = R^2 - (R-d)^2 = (2R-d)d \approx 2Rd \quad (4)$$

da $2R$ deutlich größer als d . R ist der Krümmungsradius der Linse.

Setzt man (3) in (1) ein, erhält man für Maxima: $2d + \lambda/2 = k\lambda \rightarrow 2d = \lambda(k-1/2)$

$$\text{Mit (4) ergibt sich } r^2 = R\lambda\left(k - \frac{1}{2}\right) \quad (5)$$

Setzt man (3) in (2) ein, erhält man für Minima: $2d + \lambda/2 = (k+1/2)\lambda \rightarrow 2d = k\lambda$

$$\text{Mit (4) ergibt sich } r^2 = Rk\lambda \quad (6)$$

In 1.2 soll r^2 als Funktion von k dargestellt werden und R durch lineare Regression bestimmt werden. Für die Gerade gilt:

$$r^2 = bk + c \quad (7)$$

$$b = \frac{\overline{kr^2} - \bar{k} * \bar{r^2}}{\bar{k}^2 - (\bar{k})^2} \quad (8)$$

$$\bar{r^2} = \frac{1}{n} \sum r_i^2 \quad (8.a.1) \quad \bar{k} = \frac{1}{n} \sum k_i \quad (8.a.2)$$

$$\overline{\Delta r^2} = \frac{1}{n} \sum (\Delta r_i)^2 \quad (8.a.3)$$

$$\bar{k}^2 = \frac{1}{n} \sum k_i^2 \quad (8.b.1) \quad \overline{kr^2} = \frac{1}{n} \sum k_i r_i^2 \quad (8.b.2)$$

Da Minima betrachtet werden gilt gleichzeitig (6), so dass $b = \lambda R \rightarrow R = \frac{b}{\lambda}$ (9)

Entsprechend verfährt man bei 1. 3, wobei R bekannt ist, so dass $\lambda = \frac{b}{R}$ (10)

3. Versuchsaufbau

Um Newtonsche Ringe zu erzeugen, lässt man Licht durch eine sphärische Linse, die auf einer Planglasplatte fixiert ist, fallen. Im Luftspalt zwischen Planglasplatte und Linse interferieren das Licht, so dass sich (durch die Form der Linse vorgegeben) konzentrisch immer abwechselnd helle und dunkle (Schatten) Kreise bilden.

Da dieses Experiment relativ klein ist, sind die entstehenden Ringe auch dem entsprechend klein, so dass das Experiment durch ein Mikroskop betrachtet wird. Mit Hilfe eines bewegbaren Schlittens, auf dem die Versuchsanordnung montiert ist, und einer Messuhr, die die Position des Schlittens erfasst, kann man den Durchmesser der Ringe bestimmen.

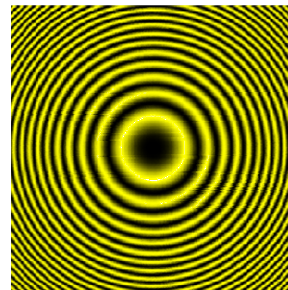
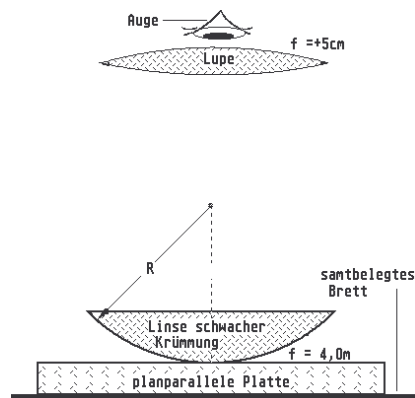


Abbildung 2

4. Messergebnisse

Natriumdampflampe		Grünes Licht		rotes Licht	
k	d (0.01mm)	k	d (0.01mm)	k	d (0.01mm)
1	-	1	-	1	-
2	67	2	67	2	69
3	86	3	78	3	85
4	97	4	91	4	100
5	110	5	103	5	111
6	120	6	114	6	123
7	130	7	123	7	133
8	139	8	132	8	142
9	149			9	152
10	158			10	160

11	165			11	168
12	172			12	176

Tabelle 1

k r ² (m ²)			k r ² (m ²)			k r ² (m ²)		
1			1			1		
2	1,122E-07		2	1,122E-07		2	1,190E-07	
3	1,849E-07		3	1,521E-07		3	1,806E-07	
4	2,352E-07		4	2,070E-07		4	2,500E-07	
5	3,025E-07		5	2,652E-07		5	3,080E-07	
6	3,600E-07		6	3,249E-07		6	3,782E-07	
7	4,225E-07		7	3,782E-07		7	4,422E-07	
8	4,830E-07		8	4,356E-07		8	5,041E-07	
9	5,550E-07					9	5,776E-07	
10	6,241E-07					10	6,400E-07	
11	6,806E-07					11	7,056E-07	
12	7,396E-07					12	7,744E-07	
Mittelwert	7	4,272E-07	Mittelwert	5	2,679E-07	Mittelwert	7	4,436E-07
qMittelwert	59		qMittelwert	29		qMittelwert	59	

Tabelle 2

k*r ²		k*r ²		k*r ²	
	2,2445E-07		2,2445E-07		2,3805E-07
	5,547E-07		4,563E-07		5,41875E-07
	9,409E-07		8,281E-07		1,00000E-06
	1,5125E-06		1,32613E-06		1,54013E-06
	2,16E-06		1,9494E-06		2,26935E-06
	2,9575E-06		2,64758E-06		3,09558E-06
	3,8642E-06		3,4848E-06		4,0328E-06
	4,99523E-06				5,1984E-06
	6,241E-06				6,4E-06
	7,48688E-06				7,7616E-06
	8,8752E-06				9,2928E-06
Mittelwert	3,61932E-06	Mittelwert	1,55954E-06	Mittelwert	3,76096E-06

Tabelle 3

b	6,286E-08	b	5,501E-08	b	6,556E-08
Wellenlänge	5,89E-07	Wellenlänge	5,15E-07	Wellenlänge	6,14E-07

Tabelle 4

R	1,07E-01 m				
		dL=Kohärenzl.	5,41E-06	dL=Kohärenzl.	6,45E-06
		d	2,58E-06	d	1,23E-05
		tau	1,81E-14	tau	2,15E-14
		df	5,54E+13	df	4,65E+13
		dwellenl	1,85E+05	dwellenl	1,55E+05

Tabelle 5

k(max-rot)	40
k(max-grün)	10
delta(d-mess)	0,01 mm
delta(d-Auge)	0,01 mm

Tabelle 6

Für das Licht der Natriumdampflampe und das der Farbfilter ergibt sich für $rk^2 = f(k)$ folgenden Grafik:

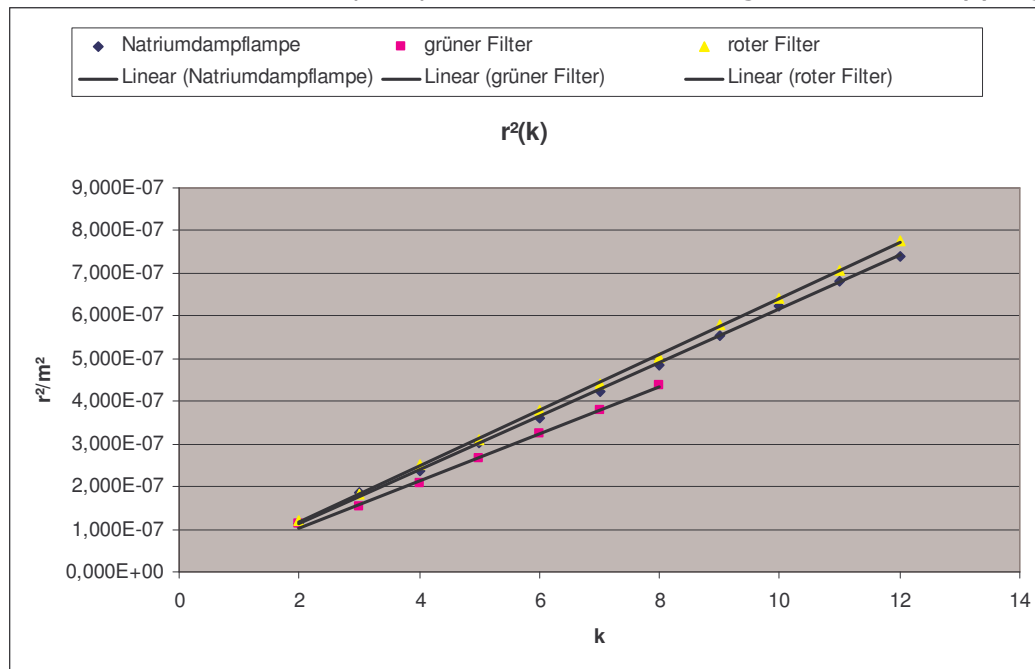


Abbildung 3

Für den Radius der Linse ergab sich durch lineare Regression (9) folgender Wert:

$$R = \frac{b}{\lambda} = 1,07 \cdot 10^{-1} \text{ m} = 107 \text{ mm} \quad (9)$$

Mit $b = 6,286 \text{ E} - 08$ (8) und gegebenem λ .

Bei Verwendung verschiedener Farbfilter, kann, nach bekanntem Linsenradius, durch umstellen der Formel (9) zu Formel (10) die Wellenlänge des durch den Farbfilter tretenden Lichts berechnet werden.

Für rotes Licht gilt:

$$\lambda = \frac{b}{R} = \frac{0,0655 \text{ mm}^2}{107 \text{ mm}} = 0,000614 \text{ mm} \quad (10)$$

Mit $R = 107 \text{ mm}$ aus Aufgabenteil 1.2 und $b = 6,556 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 = 0,0655 \text{ mm}^2$ nach (8)

Für grünes Licht gilt:

$$\lambda = \frac{b}{R} = \frac{0,055 \text{ mm}^2}{107 \text{ mm}} = 0,000515 \text{ mm} \quad (10)$$

Mit $R = 107 \text{ mm}$ aus Aufgabenteil 1.2 und $b = 5,501 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 = 0,055 \text{ mm}^2$ nach (8)

Bestimmung der Kohärenzlänge und der spektralen Bandbreite:

Die Anzahl der zu sehenden Minima wird durch Auszählen bestimmt, es ergibt sich:

$$k_{\text{max,rot}} = 40$$

$$k_{\text{max,grün}} = 40$$

Die Kohärenzlänge entspricht dem maximalen Gangunterschied, bei dem noch Interferenz sichtbar ist. Es gilt

$$\Delta L = k\lambda + \frac{\lambda}{2} = \Lambda$$

Daraus folgt für rotes Licht der Wellenlänge $\lambda = 0,000614\text{mm}$:

$$\Lambda_r = \Delta L = k\lambda + \frac{\lambda}{2} = 40 * 614\text{nm} + \frac{614\text{nm}}{2} = 24867\text{nm} = 0,024867\text{mm}$$

$$\tau_{rot} = \frac{\Lambda_{rot}}{c} = 8,29 * 10^{-15} \text{ s}$$

$$\Delta f_{rot} = \frac{1}{\tau_{rot}} = 1,205 * 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta \lambda_{rot} = \frac{c}{\tau_{rot}} = 2,4867 * 10^{-6} \text{ m}$$

Für grünes Licht der Wellenlänge $\lambda = 0,000515\text{mm}$ gilt:

$$\Lambda_{grün} = \Delta L = k\lambda + \frac{\lambda}{2} = 10 * 515\text{nm} + \frac{515\text{nm}}{2} = 5407\text{nm} = 0,005407\text{mm}$$

$$\tau_{grün} = \frac{\Lambda_{grün}}{c} = 1,80 * 10^{-15} \text{ s}$$

$$\Delta f_{grün} = \frac{1}{\tau_{grün}} = 5,544 * 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta \lambda_{grün} = \frac{c}{\tau_{grün}} = 5,407 * 10^{-7} \text{ m}$$

5. Messunsicherheiten

Messabweichung des Parameters b, der linearen Regression:

$$\overline{\Delta r^2} = \frac{1}{n} \sum \Delta r_i^2 \quad (8.a.3) \quad \text{mit} \quad \Delta r_i^2 = c + bk_i - r_i^2 \quad (8.a.4)$$

$$\overline{\Delta r^2} = 1,2 * 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,012\text{mm}^2$$

$$\Delta b = \sqrt{\frac{\overline{\Delta r^2}}{(n-2)(\overline{k^2} - (\overline{k})^2)}} \quad (8.1)$$

$$\Delta b = 0,0100\text{mm}^2$$

$$\Delta R = \frac{\Delta b}{\lambda} = 16,97\text{mm}$$

Für grünes Licht:

$$\Delta b = \sqrt{\frac{\Delta r^2}{(n-2)(\overline{k^2} - (\overline{k})^2)}}$$

$$\Delta b = 0,0155 \text{ mm}^2$$

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta b}{R} + \frac{b}{R^2} \Delta R = 226,397 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{grün}} = 515 \text{ nm} \pm 226,397 \text{ nm}$$

Für rotes Licht:

$$\Delta b = \sqrt{\frac{\Delta r^2}{(n-2)(\overline{k^2} - (\overline{k})^2)}}$$

$$\Delta b = 3,0009 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$$

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta b}{R} + \frac{b}{R^2} \Delta R = 125,220 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{rot}} = 614 \text{ nm} \pm 125,220 \text{ nm}$$

6. Zusammenfassung und Diskussion

Für einen Versuch, der sehr schwierig, weil für das Auge sehr kompliziert und anstrengend, durchzuführen ist, sind relativ gute Messergebnisse entstanden. Die Wellenlänge des roten Lichts stimmt relativ gut mit den Literarischen Werten überein, bei der Wellenlänge für grünes Licht haben wir einen sehr großen Fehler, so dass wir beim grünen Licht mit dem Fehler schon ins blaue und gelbe kommen.

7. Literatur

Stroppe H. Physik
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag
12. Auflage 2003