

Astronomisches Anfängerpraktikum

Wellenoptik

KENN Michael, 8725258

6. April 2011

Zusammenfassung

Im Rahmen des Astronomischen Anfängerpraktikums soll mit einem Schmidt-Cassegrain Teleskop der Abstand zweier winziger, in Alufolie gestochener Löcher aus 26 Meter Entfernung bestimmt werden. Diese beiden Löcher werden von hinten mit einem Diaprojektor (ohne Objektiv) beleuchtet. Mit dieser Versuchsanordnung soll ein Doppeltsternsystem simuliert werden.

1 Einleitung

Diese Praktikumseinheit ist ein schönes Beispiel für die Illustration der Wellennatur des Lichts. Die Interferenzeigenschaften von Wellen werden genutzt, um eine Distanzbestimmung zweier benachbarter Lichtquellen durchzuführen. In der Regel sind dafür zumindest zwei Teleskope erforderlich. Die Praktikumseinheit kommt jedoch mit einem 11"-Schmidt-Cassegrain Teleskop aus. Man hilft sich mit zwei getrennten Öffnungen in der Apparaturblende, wobei die Basislängendistanz zwischen diesen beiden Öffnungen variiert werden kann.

Aufgabenstellung :

Die Praktikumseinheit besteht aus 3 Teilen:

- Einführung in die Funktionsweise des institutseigenen 11"-Schmidt-Cassegrain Teleskops

- Bestimmung der Wellenlänge des verwendeten Filters mittels verschiedener Blendenöffnungsgrößen
- Bestimmung des Abstands zweier sehr knapp beinanderliegender Lichtquellen aus 26 Meter Entfernung mittels Interferometrie

Funktionsweise des Teleskops :

Dieser Teil wurde im Praktikum ausführlich behandelt und ich beschränke mich deshalb hier auf die wesentlichen Punkte:

- Das Teleskop ist gegenüber der Äquatorialebene ausgerichtet. Die beiden Bewegungsrichtungen entsprechen genau Deklination und Rektaszension, und können somit direkt eingestellt werden.
- In Grundposition senkrecht zur Äquatorialebene ist das Teleskop auf der nördlichen Hemisphäre genau gegen Norden ausgerichtet. Nur in diesem Fall ist keine Nachführung erforderlich.
- Die Nachführung kann folglich ausschließlich durch Drehung um die Rektaszensionsachse erfolgen.

2 Filterbestimmung

Die Bestimmung der Wellenlänge des verwendeten Filters erfolgt durch Messungen von interferometrisch bedingten Beugungsminima. Diese sind als konzentrische, schwarze Ringe zu beobachten. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, sind die zu messenden Ringe in der Realität aufgrund atmosphärischer Störungen keineswegs scharf, was die Messungen naturgemäß erschweren. In unserer Laboranordnung spielt dieses Problem jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Als Schwierigkeit hat sich hingegen die sehr geringe Ausdehnung der Ringe, speziell bei größeren Öffnungen, herausgestellt. Der Ring des n -ten Beugungsminimums hat einen Radius r_n , der sich folgendermassen berechnet:

$$r_n/\text{Rad} = (n + 0.22) \cdot \frac{\lambda}{D},$$

Dabei ist λ die Wellenlänge des Filters und D die Öffnung des Teleskops. Der Messfehler der Öffnungen D ist gegenüber dem zu erwartenden Messfehler σ_r der Radien r_n vernachlässigbar. Daraus ergibt sich bei N Messungen mit

den verschiedenen Öffnungsgrößen D_i und n_i -ten Beugungsminima ein zu erwartender Fehler von

$$\sigma_\lambda = \frac{\sigma_r}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i}{n_i + 0.22} \right)^2}$$

Aus der Angabe geht hervor, dass bei der Messung der Ringradien eine Masseneinheit 6.84 Bogensekunden entspricht. Wir haben für die Messgenauigkeit der Ringdurchmesser $2\sigma_r = \pm 0.4$ Einheiten angenommen, was auf die Radien umgerechnet etwa ± 1.4 Bogensekunden entspricht. Es muss hier aber unbedingt angeführt werden, dass die Berechnung der Filterwellenlängen schlecht konditioniert ist und im worst case, nämlich bei großer Öffnung D und kleinem n eine Ungenauigkeit von bis zu ± 184 nm vorliegt.

Wir haben insgesamt $N = 32$ Messungen mit drei verschiedene Öffnungen D für drei verschiedene Beugungsordnungen n und vier verschiedene Experimentatoren durchgeführt. Diese Messungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die oben ausgeführte Fehlerabschätzung ergibt

$$\sigma_\lambda \approx 83 \sigma_r \approx 17 \text{ nm}$$

und der entsprechende Filterwellenlängenbereich ist

$$\lambda = 525 \pm 17 \text{ nm}$$

Damit liegt der (uns erst nachträglich genannte) richtige Filterwert von $\lambda = 550$ nm nicht einmal mehr im Fehlerintervall. Der wahrscheinlichste Grund dafür ist, dass wir zumindest teilweise falsch gemessen haben.

3 Lochabstandsbestimmung

Im dritten Teil dieses Praktikums wird der Abstand zweier sehr eng beinanderliegender Lichtquellen aus 26 Meter Entfernung mit Interferometrie überraschend genau bestimmt. Gegenüber vorhin ist nun als zusätzliche Information die genaue Filterwellenlänge $\lambda = 550$ nm bekannt.

Vorgehensweise :

Die Lochabstandsbestimmung erfolgt mit einem Zweilochinterferometer. Dabei werden beim Teleskop zwei Öffnungen mit einer Basislängentfernung

B geöffnet. Die Entfernung B dieser Öffnungen ist mittels Schieber skalierbar. Es wird nun solange die Basislänge verstellt, bis die Interferenzmuster verschwinden. In diesem Fall fallen Minima und Maxima benachbarter Beugungsordnungen aufeinander, der Kontrast ist also minimal. Allgemein gilt dann für die gesuchte Separation der beiden Lichtquellen

$$s/\text{Rad} = \frac{\lambda(2n - 1)}{2B_{n\text{-tes Min.}}}$$

Als Zusatzinformation ist bekannt, bei welchen Basislängen sich in etwa die n -ten Minima befinden. Bei gegebenem Abstand $R = 26$ Meter ergibt sich für die Distanz d der beiden Lichtquellen nach N Messungen ein Erwartungswert

$$d = \frac{R \cdot \lambda}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(2n_i - 1)}{2B_i}$$

und der zu erwartende Fehler

$$\sigma_d = \sigma_x \cdot \frac{1.4087 \cdot R \cdot \lambda}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{(2n_i - 1)}{2B_i^2} \right)^2},$$

mit x aus der Angabe, wobei selbstverständlich auf die richtigen Einheiten zu achten ist. Den Fehler für die Abmessung x nehmen wir konservativ mit $\sigma_x = 0.2$ an. Mit unseren in Tabelle 2 zusammengefassten Daten erhält man so überraschend genau

$$d/\mu\text{m} = 296 \pm 42\sigma_x = 296 \pm 8$$

n	D[m]	Diam. $2r_n$ [6.84"]				resultierendes λ			
1	0.02	1.9	2.0	1.9	2.0	516	544	516	544
2	0.02	3.4	3.5	3.3	3.8	508	523	493	568
3	0.02	5.0	5.0	4.5	5.5	515	515	463	566
1	0.01	3.3	3.5	3.6	3.5	448	476	489	476
2	0.01	8.5	7.5	7.5	8.0	635	560	560	597
1	0.034	1.0	1.2	1.0	1.0	462	554	462	462
2	0.034	1.7	2.1	1.8	2.8	432	533	457	711
3	0.034	2.8	3.5	2.9	3.5	490	613	508	613

Tabelle 1: Messreihen zur Filterbestimmung

x	B_n	n	λ	s ["]	d [μ m]
8.0	11.2	3	550	2.529	319
8.3	11.6	3	550	2.437	307
5.2	7.3	2	550	2.341	295
5.3	7.4	2	550	2.296	289
9.0	12.6	3	550	2.247	283
5.4	7.6	2	550	2.253	284
5.2	7.3	2	550	2.341	295
1.8	2.5	1	550	2.287	288
1.7	2.3	1	550	2.424	306

Tabelle 2: Messreihen zur Lochabstandsbestimmung

Literatur

- [1] Franz Kerschbaum,
Ein visuelles Sterninterferometer im Eigenbau,
Sterne und Weltraum 4/1999,
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1999S%26W...38..383K>
- [2] Daniel Fischer,
Durchbruch in der optischen Interferometrie,
Sterne und Weltraum 4/1999,
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1999S%26W...38..338F>

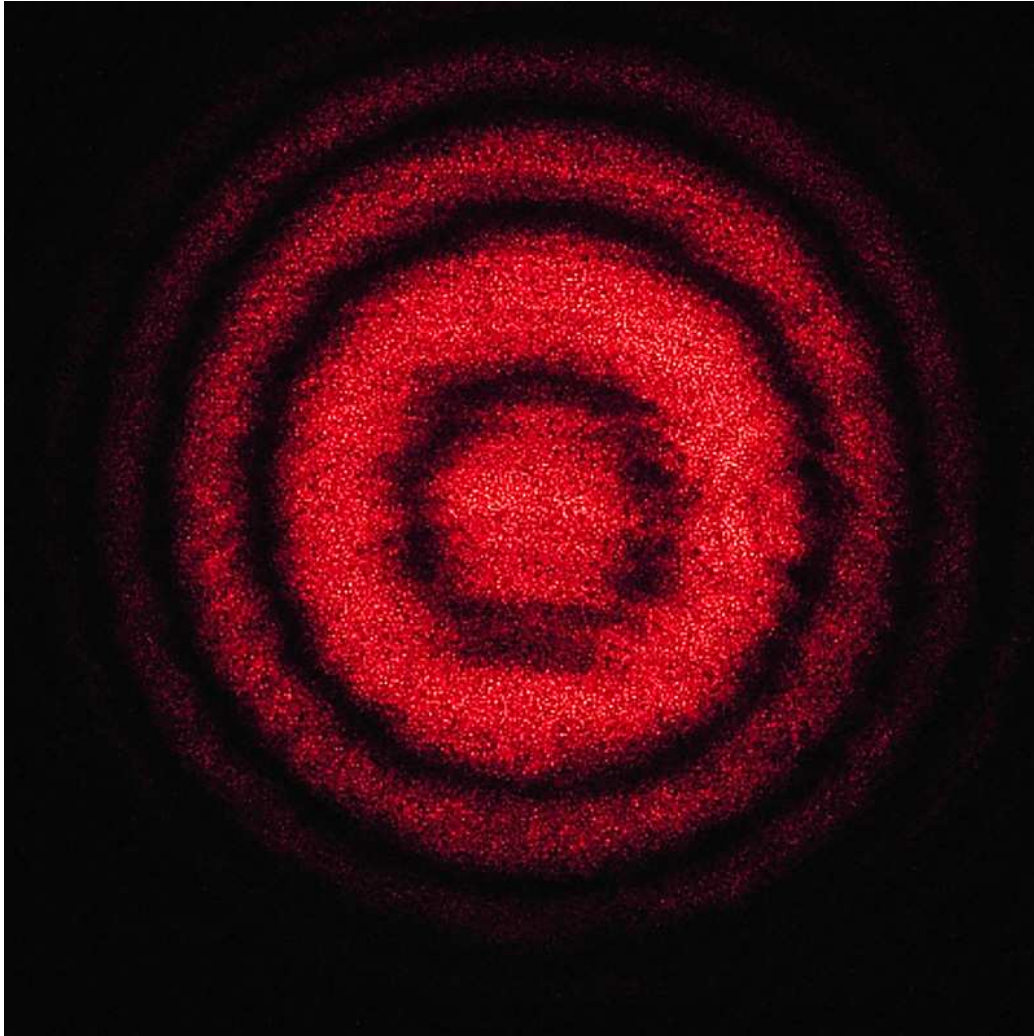


Abbildung 1: Bei den schwarzen Ringen handelt es sich um interferometrische Auslöschungen. Misst man die Radien dieser Ringe, so läßt sich aus der Blendenöffnung auf die Wellenlänge des verwendeten Filters schließen.