

Untersuchung der räumlichen Kohärenz einer ausgedehnten Lichtquelle

Versuchsziel

- Untersuchung der Kohärenzbedingung für ausgedehnte Lichtquellen am Beispiel einer Spektrallampe

Grundlagen

Kohärenz ist die Fähigkeit unterschiedlicher Wellen, stationäre Interferenzerscheinungen hervorzurufen. Eine zeitlich stationäre Interferenzstruktur kann nur dann beobachtet werden, wenn sich die Phasendifferenz einer beliebigen Teilwelle an zwei verschiedenen Orten um weniger als 2π unterscheidet. Man nennt die Teilwellen dann räumlich kohärent.

Die räumliche Kohärenz einer Lichtquelle kann mit dem Doppelspalt-Experiment untersucht werden. Hierbei beleuchtet die Lichtquelle einen Doppelspalt, dessen Spalte die Breite b und den Spaltabstand g haben. Sind die von der Lichtquelle ausgesandten Teilstrahlen am Ort der beiden Spalte kohärent, so kann hinter dem Doppelspalt ein Interferenzbild beobachtet werden.

Für eine ausgedehnte Lichtquelle der Breite a haben die größte Wegdifferenz und damit die größtmögliche Phasendifferenz die Teilstrahlen, die von den Rändern der Quelle ausgehen und sich an den äußeren Rändern der Spalte überlagern. Die Weglängendifferenz beträgt hier:

$$\Delta s = a \cdot \sin \alpha \approx a \cdot \frac{1}{2}(g + b) \quad \text{für } L \gg a, b, g.$$

Ist diese Weglängendifferenz kleiner $\frac{\lambda}{2}$, ist die maximal mögliche Phasendifferenz zwischen den beiden Spalten kleiner 2π und damit die Beleuchtung kohärent.

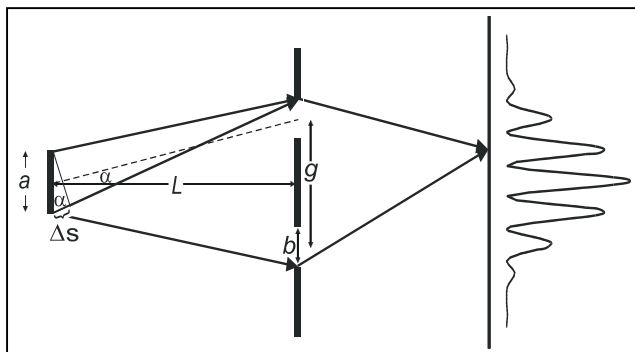


Abb. 1: Doppelspaltexperiment



Abb. 2: Versuchsaufbau

Die Bedingung für eine kohärente Beleuchtung der beiden Spalte lautet daher

$$\Delta s = a \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} a (g + b) < \frac{\lambda}{2}$$

Zur Erzeugung von Interferenzbildern darf die verwendete Lichtquelle also um so größer sein, je weiter sie entfernt ist.

Im Versuch wird diese Kohärenzbedingung untersucht. Als Lichtquelle dient ein einstellbarer Einfachspalt, der von einer Hg-Spektrallampe beleuchtet wird. Nach einem passenden Filter erhält man so eine monochromatische Lichtquelle mit veränderlicher Breite a . Im Abstand L vom Einfachspalt werden Doppelspalte mit verschiedenem Spaltabstand g (und fester Breite b) beleuchtet. Für jeden Spaltabstand g wird die Breite a des einstellbaren Einfachspaltes bestimmt, für die das Interferenzmuster hinter dem Doppelspalt unscharf wird, d.h. die Kohärenzbedingung nicht mehr erfüllt wird.

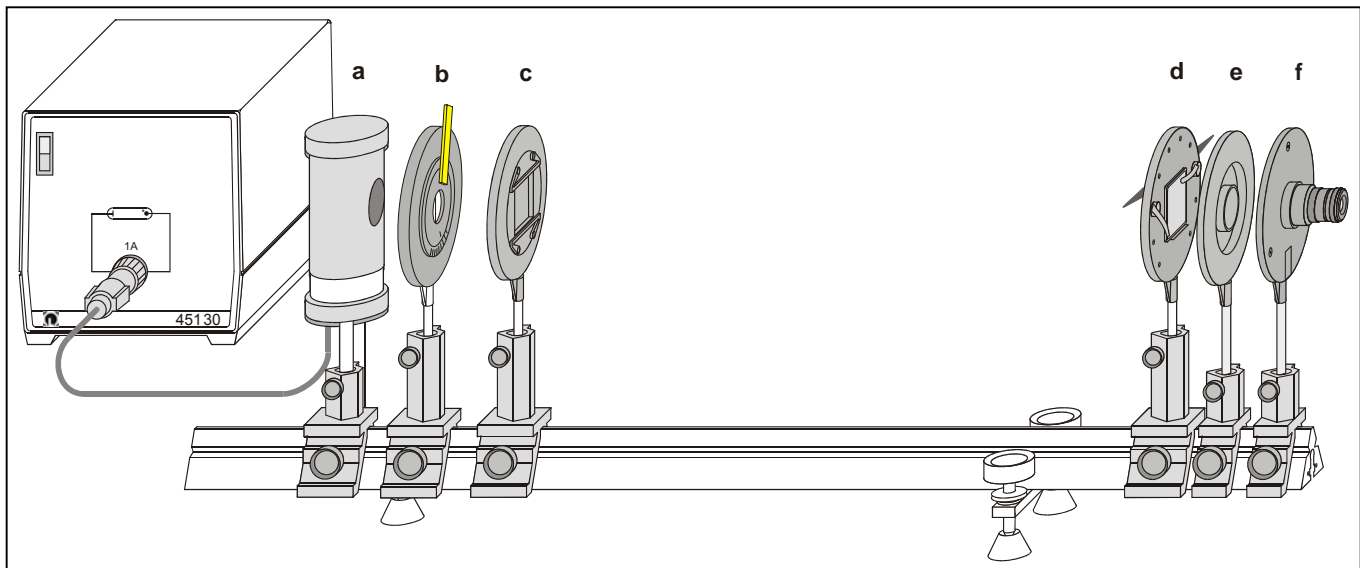


Abb. 3: Aufbau des Doppelspalt-Experiments

- a Spektrallampe Hg 100
- b Verstellbarer Spalt
- c Monochromatischer Lichtfilter, gelb-grün
- d Doppelspalt
- e Linse, $f = +50$ mm
- f Okular mit Strichskala

Geräte

1 Spektrallampe Hg 100.....	451 062
1 Gehäuse für Spektrallampen	451 16
1 Universaldrossel 230 V, 50 Hz.....	451 30
1 Optische Bank mit Normalprofil, 1 m	460 32
2 Optikreiter 60/34.....	460 370
1 Optikreiter 60/50.....	460 373
3 Optikreiter 90/50.....	460 374
1 Monochromatischer Lichtfilter, gelb-grün	468 07
1 Blende mit 4 Doppelspalten	469 85
2 Halter mit Federklemmen	460 22
2 Schieber	200 25 088
1 Verstellbarer Spalt.....	460 14
1 Linse in Fassung $f = +50$ mm.....	460 02
1 Okular mit Strichskala	460 135

Hinweis:

Der Versuch kann auch für Einzellinien anderer Spektrallampen mit einem jeweils passenden Filter durchgeführt werden. Geeignet sind z.B. die Kombinationen:

- Spektrallampe He (451 031) mit Monochromatischem Lichtfilter dunkelrot (468 01) oder gelb (468 05).
- Spektrallampe Cd (451 041) mit Monochromatischem Lichtfilter rot (468 03)

Sicherheitshinweise:

Spektrallampe (451 062) in Gehäuse (451 16) nur über Universaldrossel (451 30) ans Netz anschließen.

Zwischen Lichtaustrittsöffnung und optischem Element (z.B. Blende, Linse) einen Mindestabstand von 3 cm einhalten, um Überhitzung durch Wärmestau auszuschließen.

Aufbau

Hinweis: Messungen in einem möglichst vollständig verdunkelten Raum durchführen.

Der Versuchsaufbau ist in der Abbildung 2 dargestellt. Zum Aufbau sind folgende Schritte nötig:

- Spektrallampe Hg 100 (a) im Optikreiter 60/50 an einem Ende der optischen Bank anbringen.
- Verstellbaren Spalt (b) ca. 5 cm hinter der Spektrallampe montieren.
- Spektrallampe (a) so ausrichten, dass der verstellbare Spalt (b) mittig beleuchtet wird.
- Das Monochromatische Lichtfilter, gelb-grün (c), im Halter mit Federklemmen festklemmen und hinter dem verstellbaren Spalt (b) auf der optischen Bank montieren.
- Blende mit 4 Doppelspalten (d) im Halter mit Federklemmen festklemmen und ca. 50 cm hinter dem verstellbaren Spalt (b) auf der optischen Bank montieren. Zusätzlich die Schieber so im Halter mit Federklemmen befestigen, mit denen die Ausleuchtung der Doppelspalte angepasst werden kann.
- Doppelspalte (d) und verstellbaren Spalt (b) parallel zueinander ausrichten. Darauf achten, dass die Halter senkrecht zur optischen Achse stehen, da sonst die nominellen Werte für Spaltbreite bzw. Spaltabstand nicht den im Versuch realisierten Werten entsprechen.
- Linse in Fassung mit $f = 50$ mm (e) im Optikreiter 60/34 direkt hinter der Blende mit 4 Doppelspalten (d) aufstellen.
- Okular mit Strichskala (f) im Optikreiter 60/34 direkt hinter der Linse mit $f = 50$ mm (e) montieren.
- Universaldrossel an die Spektrallampe anschließen und einschalten; Aufwärmphase von einigen Minuten abwarten.

Durchführung

- Doppelspalt mit Spaltabstand $g = 0,25$ mm und Stegbreite $b = 0,20$ mm mittig zur optischen Achse ausrichten. Die Schieber so einstellen, dass die anderen Doppelspalte nicht beleuchtet werden.
- Am verstellbaren Spalt (b) eine Spaltbreite $a = 0,10$ mm einstellen.

- Abstand von Linse (**e**) und Okular (**f**) zum Doppelspalt so anpassen, dass das **Interferenzbild des Doppelspaltes** scharf abgebildet wird.
- Spaltbreite *a* langsam vergrößern, bis die Kanten des Interferenzbildes unscharf werden und diese Spaltbreite notieren.
- Versuch mit den anderen Doppelspalten wiederholen.

Auswertung und Diskussion

In der Messung wurden für alle Doppelspalte die Spaltbreite *a* des verstellbaren Spalts bestimmt, für die das Interferenzbild gerade unscharf wurde. Der Abstand *L* vom verstellbaren Spalt zum Doppelspalt betrug *L* = 45 cm. Die Daten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Zur Überprüfung der Kohärenzbedingung wurden die Werte in die Gleichung

$$\frac{1}{2} \frac{a}{L} (g+b) < \frac{\lambda}{2} \quad \text{bzw.} \quad \frac{a}{L} (g+b) < \lambda$$

eingesetzt und die Ergebnisse ebenfalls in Tabelle 1 eingetragen.

Doppelspalt		Verstellbarer Spalt	Kohärenzbedingung
Spaltabstand <i>g</i> / mm	Spaltbreite <i>b</i> / mm	Spaltbreite <i>a</i> / mm	$\frac{a}{L} (g+b)$ / nm
0,25	0,20	0,6	600
0,50	0,20	0,4	622
0,75	0,20	0,3	633
1,00	0,20	0,25	667

Tabelle 1: Messwerte und Ergebnisse

Für alle Spaltbreiten ergeben sich nach dem Einsetzen in die Gleichung der Kohärenzbedingung Werte größer der untersuchten Wellenlänge $\lambda = 546$ nm. Die Kohärenzbedingung ist also bei den jeweils verwendeten Werten von *g*, *b*, *a* und *L* gerade nicht mehr erfüllt.

Der Vergleich zwischen den verschiedenen Werten für den Abstand *g* der Doppelspalte und dem Durchmesser *a* der Lichtquelle (hier der verstellbare Spalt) zeigt, dass für einen festen Abstand *L* der Durchmesser *a* umso kleiner sein muss, je weiter die zwei Orte (hier die Doppelspalte) voneinander entfernt sind, für die das Licht noch kohärent sein soll.

Alternativ kann auch der Abstand *L* verändert werden. Für sehr große Lichtquellen muss daher nur der Abstand *L* ausreichend groß sein, um hinter einem Doppelspalt noch ein Interferenzbild zu beobachten. Daher können auch Sterne ein Interferenzbild erzeugen, da hier zusätzlich ein großer Abstand gegeben ist. Beispielsweise hat der nächstgelegene Fixstern Proxima Centauri einen Durchmesser $a \approx 10^{10}$ m und einen Abstand $L \approx 4 \cdot 10^{16}$ m. Für $\lambda = 500$ nm erhält man aus der Kohärenzbedingung $g+b = 2$ m.

Mit zunehmender Wellenlänge λ ist es zudem leichter möglich, die Kohärenzbedingung einzuhalten. Dies ist u.a. Grundlage der Radioastronomie.

Hinweis:

Die Abhängigkeit der räumlichen Kohärenz von der Größe und dem Abstand der Lichtquelle wird auch zur Vermessung des Durchmessers von Sternen verwendet (Sterninterferometer nach Michelson): Das vom Stern kommende Licht fällt auf einen Doppelspalt mit variablem Abstand (meist durch zwei bewegliche Spiegel realisiert) und wird hinter dem Spalt wieder überlagert. Ist der Abstand des Sterns von der Erde bekannt, so kann über die Kohärenzbedingung aus dem kleinsten Spaltabstand, für den das Interferenzbild unscharf wird, der Sternradius bestimmt werden. Je nach Größe und Entfernung des Sterns kann der Spaltabstand mehrere Meter betragen.

