

Methoden der Experimentalphysik

Beugung am Gitter und Spektroskopie

Protokoll zur Übung vom 10. Juni 2005

erstellt von

Monika Lendl (0404319)

Christoph Saulder (0400944)

1. Strukturbestimmung von Gittern

Bei diesem Versuch waren die Gitterkonstanten zweier Gitter anhand ihrer Beugungseigenschaften zu bestimmen. Dazu wurde das zu untersuchende Gitter mit einem Laser der Wellenlänge 632.8 nm beleuchtet, der Strahl wurde am Gitter gebeugt und auf einem Schirm projiziert. Aus dem Winkel der Beugungsmaxima, ihrer Ordnung und der Wellenlänge des Lasers konnten wir die Gitterkonstante des jeweiligen Gitters bestimmen.

Durchführung

Laser, Gitter 1 (in Halterung) und Schirm wurden in einer Geraden aufgestellt. Um die Messungen nicht zu verfälschen, war darauf zu achten, dass Gitter und Schirm normal auf den Laserstrahl standen. Dann maßen wir den Abstand Gitter - Schirm und die Abstände der Beugungsmaxima voneinander. Nun tauschten wir Gitter 1 gegen Gitter 2 und maßen wiederum die Abstände der Beugungsmaxima.

Messwerte:

| Typ des Gitter | Gitter 1 (1000 Strich/cm) | Gitter 2 (250 Strich/cm) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| Maxima | Abstand [cm] | Abstand [cm] |
| Rechts 0-1 | 3,88 | 1,05 |
| Rechts 1-2 | 3,93 | 1,00 |
| Rechts 2-3 | 4,02 | 0,96 |
| Rechts 3-4 | 4,22 | 0,96 |
| Links 0-1 | 3,93 | 0,99 |
| Links 1-2 | 4,02 | 1,00 |
| Links 2-3 | 4,04 | 1,01 |
| Links 3-4 | 4,27 | 1,01 |

Abstand Gitter-Schirm: 0,595 m

Auswertung

Für die Auswertung der Messergebnisse wurde einfach die Formel für die Intensitätsmaxima des Doppelspalts verwendet. Wobei das Ziel war, die Gitterkonstante zu bestimmen. Dabei wurde die Formel wie folgt angeschrieben: $d = n \cdot \lambda / (2 \cdot \sin(\alpha))$, wobei d den Gitterabstand ergibt, n Werte für gerade Zahlen annimmt und λ die Wellenlänge des Laserstrahls ist, welche mit 632,8 nm angegeben ist. Der noch unbekannt Winkel α ist auf folgende Art und Weise aus der Entfernung e und dem Abstand x des jeweiligen Maximum vom Hauptmaximum zu ermitteln: $\alpha = \arctan(x / e)$. Hierbei sind für x dann einfach unsere Messwerte nach außen hin aufzusummieren und dabei erhöht sich auch der Index n in der ersten Formel stets um 2. Für die Rechnung wurden alle verwendeten Werte in die SI-Einheiten umgeformt. Als Ergebnis erhielten wir für den Filter 1 einen Gitterabstand d von $(0,00970 \pm 0,0001)$ mm und für den Gitter 2 $(0,00374 \pm 0,0008)$ mm. Laut Angabe auf dem Gitter selbst hatte Gitter 1 eine Gitterkonstante von 1000 Strich/cm und unsere Messung ergab umgerechnet 1035,2888 Strich/cm. Weiters hatte Gitter 2 gemäß seiner Beschriftung eine Gitterkonstante von 250 Strich/cm und unsere Messung ergab umgerechnet 267,1513 Strich/cm.

Interpretation

Ganz generell stimmen die Messergebnisse relativ gut mit den Angaben auf den Gittern überein. Beide Male liegt der gemessene Wert leicht über dem Angegebenen, beim engeren Gitter ist der Messwert um ca. 3,5% höher und beim größeren Gitter um ca. 6,86% zu hoch. Als mögliche Messfehler kann man angeben, dass der Schirm nicht 100% normal zum Laserstrahl stand. Obwohl wir uns Mühe gaben diesen Fehler zu beheben, gelang es nur mit mäßiger Genauigkeit. Besonders bei dem Versuch mit dem 2ten Gitter fiel uns eine kleine Neigung auf, die man auch ein wenig in den Messwerten durchschimmern sieht. Ansonsten verlief das Experiment mit großer Zufriedenheit. Die Kohärenzwellenlänge L_c kann man sich relativ einfach aus der Wellenlänge des emittierten Laserstrahls und seiner Bandbreite, welche beide gegeben sind, ausrechnen. Durch geschicktes Umformen der Formel $L_c = c/\Delta\nu$ erhält man folgende Formel $L_c = \lambda^2/\Delta\lambda$, in der λ die Wellenlänge des Lasers ist und $\Delta\lambda$ seine Bandbreite, welche laut Angabe 10^{-6} beträgt. Durch kurze Rechnung erhält man eine Kohärenzwellenlänge von ca. $4,0044 \cdot 10^{-7}$ m. Die unterschiedliche Intensität der einzelnen Beugungsmaxima ist durch die endliche Breite der Spalten im Gitter erklärbar. Die Zusatzfrage zu diesem Versuch ist schnell durch einfache Trigonometrie zu lösen. Unter der Annahme, dass der Laser eine Punktquelle sei, erhält man den Radius r des Fleckes am Mond, durch Einsetzen der Entfernung Erde-Mond d und der Divergenz α des Lasers in folgende Formel: $r = d \cdot \tan(\alpha/2)$. Bei einem d von $3,8 \cdot 10^8$ m und einem α von $5 \cdot 10^{-4}$ rad ergibt sich ein Radius des Fleckes von immerhin 95 km.

2. Spektroskopie

Bei dem durchgeführten Experiment war durch spektroskopische Methoden die Transmissionswellenlänge zweier Filter zu bestimmen. Dabei wird das gefilterte Licht an einem Gitter gebeugt und durch eine Sammellinse auf einen Schirm fokussiert. Anhand der in 1) verwendeten Methode lässt sich nun die Wellenlänge berechnen.

Durchführung

In einer Linie wurden aufgestellt: die Lichtquelle, ein Spalt, Linse 1 (Sammellinse, $f = 100$ mm), der rote Filter, das Gitter (250 Strich/cm), Linse 2 (Sammellinse, $f = 400$ mm) und ein Schirm. Dabei war darauf zu achten, dass sich der Spalt im Brennpunkt der ersten und der Schirm im Brennpunkt der 2. Linse befanden und dass Gitter, Linsen und Schirm normal auf den Strahl standen. Nun maßen wir die Entfernungen der jeweils benachbarten Beugungsmaxima. Dann tauschten wir den Rot- gegen den Blaufilter und wiederholten unsere Messungen.

Messwerte

Verwendetes Gitter: 250 Strich/cm

| Linien | Rot | Blau |
|------------|---------|----------|
| Rechts 0-1 | 0,65 cm | 0,59 cm |
| Rechts 1-2 | 0,69 cm | 0,595 cm |
| Rechts 2-3 | 0,65 cm | 0,53 cm |
| Links 0-1 | 0,63 cm | 0,50 cm |
| Links 1-2 | 0,64 cm | 0,515 cm |
| Links 2-3 | 0,65 cm | 0,52 cm |

Auswertung

Bei dieser Versuchsanordnung war die Wellenlänge des roten und blauen Lichts zu bestimmen. Dazu wurde die Formel für die Intensitätsmaxima beim Doppelspalt verwendet und zwar in folgender Form $\lambda = 2 \cdot d \cdot x / (n \cdot \sqrt{x^2 + f_2^2})$. So haben wir für die Berechnung der Wellenlänge λ nur bekannte Werte. Der Gitterabstand d ist aus der bekannten Gitterkonstante leicht zu berechnen. x ist der Abstand vom Zentralmaximum, wobei die man die äußeren Werte durch Aufsummierung der Messwerte erhält. n ist wieder der geradzahlige Index für die Maxima. f_2 ist die Brennweite der Linse, welche sich zwischen Gitter und Schirm befindet und sie beträgt 400mm. Es gibt in der Versuchsanordnung noch eine weitere Linse mit der Brennweite f_1 von 100mm, welche sich vor dem Gitter befindet. Doch diese ist für die Rechnung selbst nicht relevant. Durch simples Einsetzen der Messwerte und statisches Auswerten ergab sich für das rote Licht eine Wellenlänge von $(647,6531 \pm 15,8856)$ nm und für das blau eine Wellenlänge von $(544,6242 \pm 44,3307)$ nm.

Interpretation

Die Ergebnisse des Experiments entsprechen im Großen und Ganzen den Erwartungswerten. Die Wellenlänge des roten Lichtes liegt relativ nahe bei der des im vorherigen Experiment verwendeten Lasers und auch noch im definierten Bereich von 650 - 750 nm. Die Wellenlänge des blauen Lichts ist zwar deutlich kürzer als die des roten, doch zumindest laut Messergebnis sollte unser Blau eher als Grün erscheinen, da für Blau eine Wellenlänge von 420 - 490 nm definiert ist. Leider wird dieser Wert sogar unter Berücksichtungen der maximalen Fehlertoleranz knapp nicht erreicht. Hierzu möchten wir anmerken, dass sich wie man in der Tabelle der Messwerte schon erahnen kann, mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Messfehler eingeschlichen hat. Die ersten beiden Werte der Messung des blauen Lichts liegen doch klar neben den Werten der anderen Messungen, was sich in einer deutlich größeren Standardabweichung als wie beim roten Licht niederschlug. Was genau daran Schuld ist, können wir nicht mit Sicherheit sagen, doch da das Bild (der blaue Farbstreifen) auf dem Schirm etwas unklar war und die Helligkeit desselben auch nicht gerade überragend war, vermuten wir einen Ablesefehler. Die soeben genannte Fehlerquelle war vermutlich diejenige die das Experiment am meisten beeinträchtigte. Die genaue Position des Gitters ist bei diesem Versuch ohne Relevanz, weil durch die erste Linse schon ein schöner Parallelstrahl erzeugt wird und die zweite Linse den Fraunhofer-Fall realisiert. Der Spalt gleich nach der Lampe ist dazu nötig um dort eine punktförmige Lichtquelle zu erzeugen. Diese Punktquelle liegt dann im Brennpunkt der ersten Linse, sodass die dort entstehenden Brennstrahlen durch die Linse zu Parallelstrahlen werden. Wenn der Spalt zu groß wird, dann ist die Lichtquelle keine Punktquelle mehr und das Spektrum am Schirm wird unscharf, bis man nur mehr einen weißen Streifen erkennen kann. Ein Farbfilter arbeitet ganz simpel nach dem Absorptionsprinzip. Er absorbiert alle Wellenlängen, außer den Bereich in dem er durchlässig sein soll. Der Einfluss der Linsenfehler auf dieses Experiment ist nicht spürbar.