

V6: Beugung am Gitter / Prismenspektroskop

PRAKTISCHE ÜBUNGEN IN PHYSIK FÜR MEDIZINER, ZAHNMEDIZINER UND BIOLOGEN

PHYSIKALISCHE ÜBUNGEN FÜR PHARMAZEUTEN

STAND: 22. MAI 2019

I. BEUGUNG AM GITTER

Ein paralleler Lichtstrahl wird beim Durchgang durch ein Gitter, d.h. eine regelmäßige Anordnung von engen Spalten, zum Teil aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt. Dieses Phänomen nennt man Beugung und kann durch das HUYGENSSche Prinzip erklärt werden. Nach dem HUYGENSSchen Prinzip ist jeder Punkt im Raum Ausgangspunkt einer elementaren Kugelwelle, insbesondere jeder Punkt innerhalb eines Spaltes. Dementsprechend kann sich eine Welle im geometrischen Schattenraum des Hindernisses (hier: hinter den Spalten des Gitters) ausbreiten.

Bei der Beugung am Gitter beobachtet man bei bestimmten Winkeln α ausgeprägte Intensitätsmaxima. Die Winkel α , unter denen diese Hauptmaxima beobachtet werden, lassen sich aus geometrischen Bedingungen ableiten. Die Beugungsfigur ergibt sich durch die Interferenz der elementaren Kugelwellen. Wenn der Gangunterschied s zwischen diesen elementaren Kugelwellen benachbarter Spalte ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist, beobachtet man ein Hauptmaximum, d.h. konstruktive Interferenz. Die geometrische Bedingung hierfür kann man aus Abbildung 1 ablesen:

$$s = d \cdot \sin \alpha = m \cdot \lambda \quad \text{mit } m \text{ ganzzahlig.} \quad (1)$$

Daraus folgt:

$$\sin \alpha = \frac{m \cdot \lambda}{d} \quad (2)$$

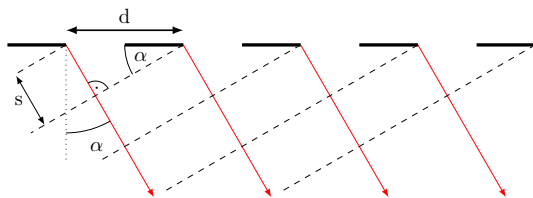


Abbildung 1: Beugung am Gitter: Die Geometrie ergibt $s/d = \sin \alpha$.

Hierbei ist s der Gangunterschied, d die Gitterkonstante (d.h. der Abstand zwischen benachbarten Spalten), α der Beugungswinkel, m die Ordnungszahl des Beugungsmaximums und λ die Wellenlänge des Lichtes.

Die Beugung am Gitter wird in diesem Versuch zur Messung von Lichtwellenlängen λ verwendet. Das Gitter in einem Gitterspektroskop besteht meist aus einer ebenen Glasplatte, in die mit einem Diamanten gerade Streifen (einige 100 pro mm) in gleichen Abständen eingeritzt sind. Diese matten Streifen absorbieren das Licht, die unbearbeiteten Streifen wirken als lichtdurchlässige Spalte.

Zwischen den Hauptmaxima, deren Lage nach Gleichung (1) berechnet werden kann, gibt es noch sogenannte Nebenmaxima mit sehr geringer Intensität (diese können im Versuch nicht beobachtet werden). Mit Hilfe der Beugung am Gitter kann man das Spektrum (Abb. 2 oben) von Licht mit hoher Auflösung untersuchen. Unter dem Begriff Spektrum versteht man ein Diagramm, in dem die Intensität als Funktion der Wellenlänge dargestellt ist.

Eine andere Darstellung eines Spektrums lässt sich mit einem Spektroskop erzeugen. Verschiedenen Ablenkungswinkeln lässt sich eine Wellenlänge zuordnen, wie in dem unteren Bild in Abbildung 2 zu sehen ist. Die Intensität entspricht dann der Helligkeit der Linie.

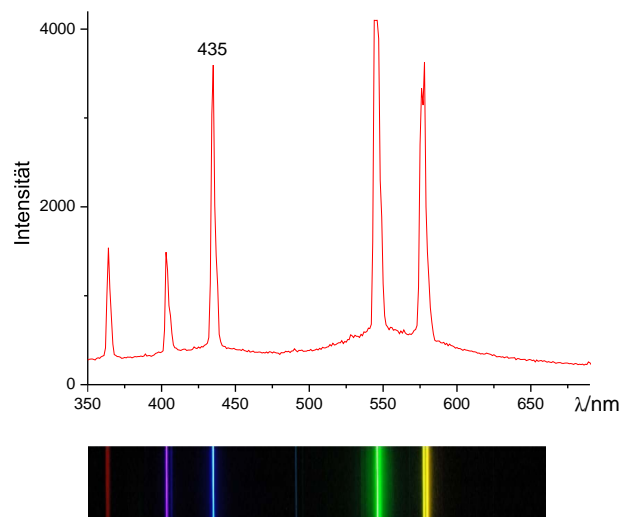


Abbildung 2: Beispiel für das Spektrum einer Quecksilberdampfampe. Oben: Die Intensität des Lichtes in Abhängigkeit der Wellenlänge. Unten: Ein Linienspektrum von Quecksilber (Helligkeit/Intensität in Abhängigkeit der Wellenlänge).

Für eine Spektraluntersuchung von Licht ist das *Auflösungsvermögen* eines Beugungsgitters wichtig. Zwei Spektrallinien lassen sich mit Hilfe eines Gitters

trennen, wenn sich ihre Hauptmaxima nicht überlappen. Das Auflösungsvermögen eines Beugungsgitters ist definiert mit

$$A := \frac{\lambda}{|\Delta\lambda|} = mN. \quad (3)$$

Dabei ist $|\Delta\lambda|$ die kleinste noch trennbare Wellenlängendifferenz zweier Linien, die beide nahe bei der Wellenlänge λ liegen. Das Auflösungsvermögen ist proportional zur Anzahl der beleuchteten Spalte N (die Schärfe der Interferenzmaxima nimmt mit ihr zu) und proportional zur Ordnung m .

VERSUCHSAUFBAU

Bauen Sie das Gitterspektroskop auf. Stellen Sie den Spalt und das Okular in Geradeausrichtung so ein, dass Sie einen möglichst schmalen und scharfen Streifen der Lichtquelle sehen (nullte Ordnung).

Achten Sie darauf, dass sich beim Durchfahren des Ablenkwinkels die Skala nicht verschiebt!

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Das Beugungsspektrum erster und zweiter Ordnung von Hg-Licht ist an einem Strichgitter mit der Gitterkonstanten $d = 10 \mu\text{m}$ aufzunehmen, indem der Beugungswinkel für die verschiedenen Spektralfarben des Hg-Lichts ausgemessen wird. Drehen Sie dazu das Okular nach links von der nullten Ordnung weg und suchen Sie nach den Spektralfarben der ersten Ordnung. Messen Sie die Winkel und notieren Sie sich die dazugehörige Farbe. Wiederholen Sie diese Messung für die zweite Ordnung.

Untersuchen Sie beide Ordnungen auch rechts der nullten Ordnung.

Wie viele Ordnungen lassen sich insgesamt beobachten? Beachten Sie, dass sich die Spektren benachbarter Ordnungen überschneiden können.

VERSUCHSAUSWERTUNG

Bestimmen Sie für jede Spektralfarbe einer Ordnung (z.B. rote Linie, erste Ordnung) den mittleren Beugungswinkel zwischen der Messung links der nullten Ordnung und rechts der nullten Ordnung. Nutzen Sie Formel 1 um die Wellenlänge zu bestimmen.

Bestimmen Sie die statistische Unsicherheit mittels Gauß'scher Fehlerfortpflanzung.

II. PRISMENSPEKTROSKOP

Während der Gitterspektrograph eine räumliche Trennung von Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen

über die wellenlängenabhängige Beugung und Interferenz an einem Gitter erreicht, nützt das Prismenspektroskop die Dispersion $dn/d\lambda$ des Brechungsindex $n(\lambda)$ aus. Auch für das Prismenspektroskop lässt sich das Auflösungsvermögen bestimmen. Bei maximaler Ausleuchtung des Prismas gilt:

$$A := \frac{\lambda}{|\Delta\lambda|} \approx b \cdot \frac{dn}{d\lambda}, \quad (4)$$

d.h. das Auflösungsvermögen des Prismas ist näherungsweise das Produkt aus seiner Basisbreite b und seiner Dispersion $dn/d\lambda$. Die Höhe des Prismas spielt dabei keine Rolle.

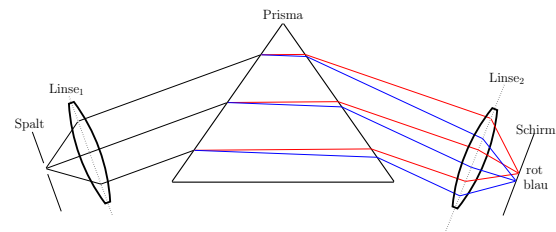


Abbildung 3: Strahlengang im Prismenspektroskop (ohne Okular). Damit der Effekt in dieser Abbildung gut sichtbar wird, wurden die tatsächlichen Brechungsindexunterschiede um einen Faktor 10 verstärkt.

VERSUCHSAUFBAU

Bauen Sie das Prismenspektroskop auf. Der Spektralapparat ist mittels der gelben Hg-Linie optisch günstig zu justieren. Dazu wird darauf geachtet, dass beim Drehen des Prismas um seine Längsachse (senkrecht zur Zeichenebene in Abb. 3) bei einer bestimmten Orientierung die Ablenkung ein Minimum hat. Dann ist der Verlauf des gelben Hg-Lichtes symmetrisch zum Prisma (der Strahlengang ist umkehrbar).

Hinweis: Bei Drehung des Prismas findet man das Minimum der Ablenkung dadurch, dass die Ablenkung immer weiter abnimmt und beim Weiterdrehen über den Punkt der minimalen Ablenkung hinaus zunächst nur schwach anwächst.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Das Spektroskop ist mit den Linien des Hg-Spektrums zu kalibrieren. Dazu werden die nun bekannten Wellenlängen der Hg-Linien (bekannt aus dem ersten Versuchsteil) gegen den Ablenkwinkel im Spektroskop aufgetragen. Anschließend soll der Ablenkwinkel der blauen Cs-Linien bestimmt werden.

VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Wellenlängen der beiden blauen Cs-Linien werden aus der Eichkurve ermittelt. Schätzen Sie die Unsicherheit sinnvoll ab.