

Gitterspektrometer

O 6

1 Aufgabenstellung

- 1.1 Ein Gitterspektrometer ist zu justieren.
 1.2 Die Wellenlängen der Spektrallinien von Helium sind zu bestimmen.

2 Physikalische Grundlagen

Die Beugung ist einer der Effekte, die die Wellennatur des Lichtes belegen. Sie kann mit Hilfe des HUYGENS-FRESNELSchen Prinzips beschrieben werden, wonach jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt einer Elementarwelle (Kugelwelle) aufgefasst wird. Die sichtbare Wellenerscheinung entsteht dann durch Überlagerung (Interferenz) dieser Elementarwellen. Trifft eine ebene Lichtwelle auf ein Hindernis, so kann sich danach die ebene Wellenfront nicht mehr vollständig formieren, weil diejenigen Elementarwellen fehlen, die auf die lichtundurchlässigen Bereiche getroffen sind; es entstehen Beugungserscheinungen.

Abb.1 zeigt dies für ein optisches Gitter (Transmissionsgitter). In ihr bedeuten: a = Spaltbreite, b = Abstand der Spalte (Gitterkonstante), φ = Beugungswinkel.

Es wird vereinfachend angenommen, dass jeder Spalt Ausgangspunkt nur einer Elementarwelle ist.

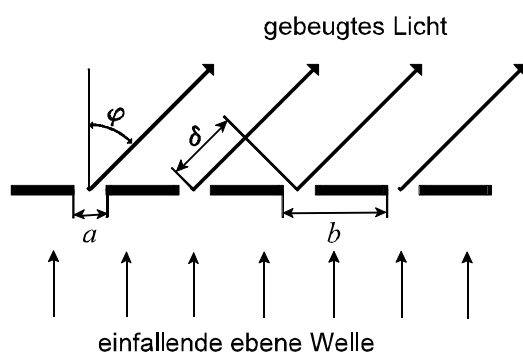


Abb.1: Zur Berechnung des Gangunterschiedes der gebeugten Lichtstrahlen an einem Gitter

Der Gangunterschied zwischen den Elementarwellen zweier benachbarter Spalte ist

$$\delta = b \cdot \sin \varphi . \quad (1)$$

In der Überlagerung der Elementarwellen treten bei Beobachtung aus großer Entfernung (FRAUNHOFERSche Beobachtungsweise) Intensitätsmaxima (Beugungsmaxima; konstruktive Interferenz) in den Richtungen φ_k auf, für die der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist:

$$\delta = k \cdot \lambda \quad (k = 0; 1; 2; \dots) . \quad (2)$$

Intensitätsminima entstehen in den Richtungen, in denen der Gangunterschied

$$\delta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

beträgt. Hierbei ist k eine Laufzahl, die Beugungsordnung. Das ungebeugt durch das Gitter gehende Licht bezeichnet man auch als nullte Beugungsordnung ($k = 0$).

Aus (1) und (2) folgt für die Beugungsmaxima:

$$\sin \varphi_k = \frac{k \cdot \lambda}{b} . \quad (4)$$

Diese Maxima sind umso intensiver und schärfer, je mehr Elementarwellen an dieser Stelle konstruktiv interferieren, d.h., je größer die Zahl der Gitterspalte ist.

Aus Gleichung (4) geht hervor, dass die Lage der Beugungsmaxima von der Wellenlänge abhängt (Dispersion). Rotes Licht wird stärker gebeugt als blaues, so dass weißes Licht in seine Spektralfarben zerlegt werden kann.

Mit Hilfe der Beugungswinkel φ_k können Wellenlängen des Lichtes bestimmt werden:

$$\lambda = \frac{b \cdot \sin \varphi_k}{k} . \quad (5)$$

Die Leistungsfähigkeit eines Spektralapparats

tes wird durch sein Auflösungsvermögen charakterisiert:

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}. \quad (6)$$

Dabei ist $\Delta\lambda$ die kleinste Wellenlängendifferenz, die mit dem Spektralapparat noch getrennt wahrgenommen werden kann. Ist N die Anzahl der Gitterspalte (d.h. nach obiger Betrachtung der Elementarwellen), die zur Interferenz beitragen, so ist

$$A = N \cdot k. \quad (7)$$

Das theoretische Auflösungsvermögen eines Gitters ist folglich proportional zur Beugungsordnung und zur Anzahl N der ausgeleuchteten Gitterspalte.

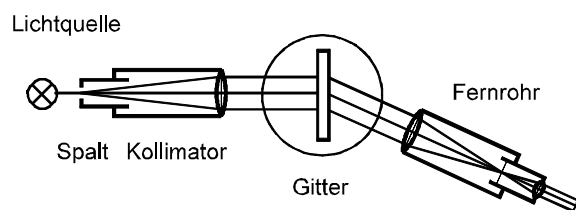


Abb. 2: Prinzip des Gitterspektrometers

Abb.2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Gitterspektrometers. Der von der Lichtquelle beleuchtete Spalt muss sich in der Brennebene der Kollimatorlinse befinden, damit paralleles Licht das Spaltrohr verlässt und auf das Gitter trifft. Die parallelen (d.h. scheinbar aus dem Unendlichen kommenden) gebeugten Lichtstrahlen werden mit einem Fernrohr beobachtet oder auch mit einer Sammellinse (Projektiv) auf einem Schirm, einer Fotoplatte oder einer CCD-Zeile abgebildet.

3 Versuchsaufbau

3.0 Geräte

- Einkreis-Reflex-Goniometer mit Trafo
- Gitter im Diarahmen, ca. 140 Str./mm (die exakte Gitterkonst. steht auf dem Gitter)
- Helium-Lampe mit Vorschaltgerät
- Hilfsspiegel

3.1 Zur Messung der Beugungswinkel φ wird ein Einkreis-Reflex-Goniometer ERG 3 verwendet. Es besteht im wesentlichen aus einem Kollimator mit einstellbarem Spalt und Kollimatorlinse, einem drehbaren Tisch mit dem Gitter und einem schwenkbaren Fernrohr mit einer Winkelmesseinrichtung, die es gestattet, Winkel mit einer Genauigkeit von 1" (1 Bogenminute) zu messen.

Als Lichtquelle dient eine Helium-Lampe, die über ein Vorschaltgerät betrieben wird.

4 Versuchsdurchführung

Machen Sie sich zuerst mit der Bedienung des Goniometers vertraut. Notieren Sie die Gitterkonstante, die auf dem Gitter steht.

4.1 Justierung des Gitterspektrometers:

Ziel der Justierung ist es, das Gitter senkrecht zum Strahlengang auszurichten und mit parallelem Licht zu beleuchten, sowie den Spalt und das Fadenkreuz im Fernrohr scharf zu sehen.

Fernrohr: Revolvereinstellung ☉, Schieber nach rechts. Durch Verschieben des Okulars wird das Fadenkreuz scharfgestellt. Danach wird das Fernrohr mittels Autokollimation auf unendlich fokussiert. Hierzu wird das Fernrohr senkrecht auf den Spiegel in der Gitterhalterung gerichtet und das Fadenkreuz mit Hilfe des GAUSSSchen Okulars beleuchtet. Das Licht trifft auf den Spiegel und wird von diesem reflektiert, so dass im Fernrohr das hell beleuchtete Fadenkreuz und sein schwarzes Spiegelbild beobachtet werden können. Das Spiegelbild ist genau dann scharf, wenn das Fernrohr auf unendlich eingestellt ist.

Kollimator: Zur Justierung des Kollimators werden Fernrohrachse und Kollimatorachse zur Übereinstimmung gebracht, indem der Spalt beleuchtet und scharf sowie symmetrisch zum Fadenkreuz abgebildet wird (Spiegel entfernen!). Die Scharfstellung erfolgt jetzt durch Verschieben des Spaltrohres (nicht am Fernrohr!). Es ist eine optimale Spaltbreite

einzustellen: möglichst klein, aber Spalt und Fadenkreuz noch gut sichtbar.

Das Fernrohr wird arretiert.

Gitter: Um das Gitter senkrecht zur gemeinsamen Achse von Fernrohr und Kollimator auszurichten, wird durch Drehung des Gittertisches das Spiegelbild des beleuchteten Fadenkreuzes mit dem Fadenkreuz selbst zur Deckung gebracht. Da das Gitter zu wenig Licht reflektiert, ist der Spiegel an seiner Stelle zu verwenden. Falls erforderlich, muss die Neigung des Tisches mit Hilfe der drei Stellschrauben justiert werden.

Der Tisch wird arretiert, die Beleuchtung des GAUSSschen Okulars ausgeschaltet und das Fernrohr entarretiert.

4.2 Zur Messung der Beugungswinkel φ_k wird das Fadenkreuz des Fernrohrs nacheinander mit den He-Spektrallinien zur Deckung gebracht und die dazugehörigen Winkelstellungen φ' werden abgelesen.

Es werden alle sichtbaren Spektrallinien (mindestens 6) jeweils in der ersten, zweiten und dritten Beugungsordnung vermessen, und zwar sowohl links als auch rechts bezogen auf die nullte Beugungsordnung. Die Beugungswinkel ergeben sich dann aus:

$$\varphi_k = \frac{\varphi'_{\text{rechts}} - \varphi'_{\text{links}}}{2}. \quad (8)$$

5 Auswertung

Die Beugungswinkel φ_k werden nach Gleichung (8) und daraus die Wellenlängen mit Hilfe von Gleichung (5) berechnet.

Die Wellenlänge der Spektrallinien als Funktion der Beugungswinkel ist für alle drei Beugungsordnungen gemeinsam in einem Diagramm grafisch darzustellen.

Die Ergebnisse sind mit den Literaturwerten zu vergleichen. Wurden alle Messungen exakt durchgeführt, dann sollten die Abweichungen nicht viel größer als die abgeschätzte Messunsicherheit sein.

6 Literatur

Dieter Meschede: Gerthsen Physik, Springer Berlin, 2010

W. Schenk, F. Kremer: Physikalisches Praktikum. Springer, 2014

Bergmann, L., Schaefer, C., Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 3, de Gruyter, 2004

7 Kontrollfragen

7.1 Welche Interferenzerscheinungen treten am Gitter auf?

7.2 Wie funktioniert ein Gitterspektrometer?

7.3 Wie erklärt sich dessen Auflösungsvermögen?

7.4 Was ist und wie entsteht Licht?