

Spektrometer

Der Brechungsindex beim Übergang zwischen zwei Medien hängt nicht nur von den Medien selber, sondern auch von der Wellenlänge des Lichtes ab: kurzwelliges Licht wird meist stärker gebrochen als langwelliges. Man nennt diese Erscheinung Dispersion.

Das Licht einer Lichtquelle besteht in der Regel nicht nur aus Licht einer bestimmten Wellenlänge, sondern setzt sich aus mehreren verschiedenen Wellenlängen zusammen (Spektrallinien). Mit Hilfe eines Prismas oder eines Gitters ist es möglich, das Licht in seine Spektralfarben aufzufächern.

Ziel

- Sie lernen den Umgang mit einem vor allem für die Geschichte der Atomphysik sehr wichtigen Messgerät. Sie führen eine sorgfältige Messung mit hoher Genauigkeit durch.
- Sie untersuchen das Spektrum einer Spektrallampe. Der minimale Ablenkswinkel der wichtigsten Linien werden gemessen und damit die Dispersionkurve des Prismas bestimmt. Ausserdem wird das Auflösungsvermögen des Prismenspektrometers ermittelt.

Vorbereitung

Die Brechung am Prisma Beim Durchgang durch ein Prisma wird ein Lichtstrahl zweimal an den jeweiligen Grenzflächen gebrochen. Dadurch wird der einfallende Lichtstrahl um den Winkel δ von seiner ursprünglichen Ausbreitungsrichtung abgelenkt. Da die Brechzahl von Prisma von der Wellenlänge des Lichts abhängt, wird das eingestrahelte Licht in sein Spektrum zerlegt (Lichtstrahlen verschiedener Wellenlängen räumlich getrennt).

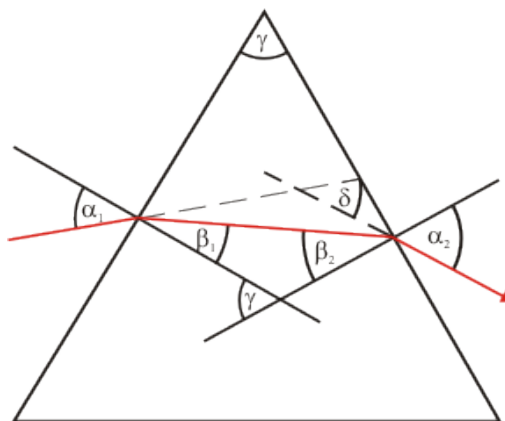


Abbildung 1: Strahlendurchgang durch ein Prisma mit brechendem Winkel γ . Die Schnittkante der sich schneidenden Flächen heisst brechende Kante.

1. Zeigen Sie, dass für ein auf die brechende Kante treffendes Lichtbündel die beiden seitlichen Reflexionen einen Winkel $\varphi = 2 \cdot \gamma$ einschliessen.
2. Zeigen Sie, dass der totale Ablenkswinkel $\delta = \alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2$ und der brechende Winkel des Prismas $\gamma = \beta_1 + \beta_2$ ist. Mit Hilfe des Brechungsgesetzes leiten Sie die allgemeine Formel für den Ablenkungswinkel δ für beliebige Einfallswinkel α_1 her.
3. Der totale Ablenkswinkel ist am kleinsten, wenn der Lichtstrahl im Prisma symmetrisch verläuft (Minimalablenkung). Zeigen Sie, dass in diesem Fall gilt (Fraunhofersche Formel):

$$\sin \frac{\delta_{min} + \gamma}{2} = n \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$$

Dieser Zusammenhang beschreibt eine Methode um den Brechungsindex des Prismamaterials zu bestimmen. Messungen an Prismen sollten stets beim minimalen Ablenkswinkel erfolgen, da in diesem Fall der Ablenkswinkel kaum vom Einfallswinkel α_1 abhängt.

4. * Beweisen Sie, dass die Minimalablenkung am Prisma bei symmetrischem Strahlengang stattfindet.

Experiment

Material

Gasentladungslampen (Hg), Glasprisma, Goniometer, Handspektroskope, verschiedene Lichtquellen (Natrium, Wasserstoff, Glühlampe, Lichtröhre, Sonnenlicht)

Aufbau

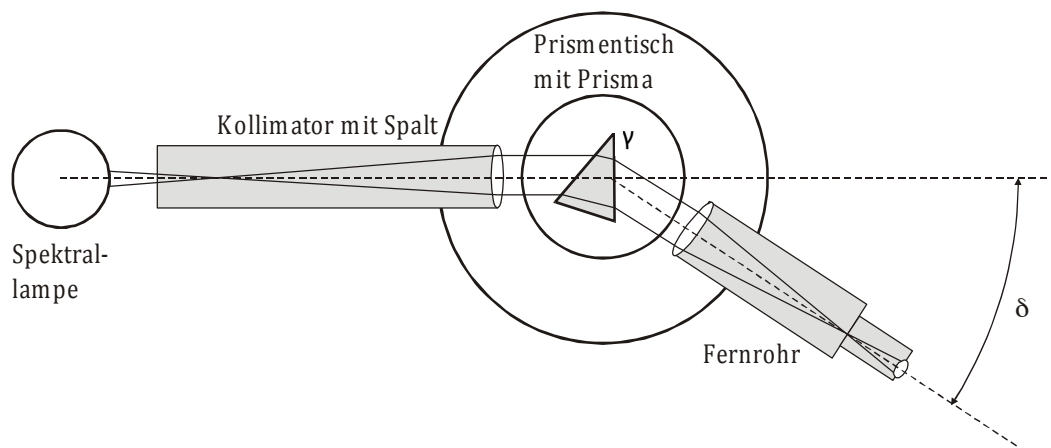


Abbildung 2: Aufbau des Prismenspektrometers: Die zu untersuchende Lichtquelle beleuchtet einen Spalt, der in der Brennebene der Kollimatorlinse steht. Aus dem Kollimator fällt paralleles Licht auf das Prisma und wird von ihm wellenlängenabhängig unterschiedlich stark abgelenkt. Das gebrochene Licht wird durch das Fernrohrobjektiv auf ein Fadenkreuz abgebildet. Mit dem Okular wird das Fadenkreuz und das an gleicher Stelle entstehende Bild des Spaltes betrachtet. Das Fernrohr ist an einem drehbaren Arm befestigt. Ein Goniometer mit Nonius dient zur genauen Messung der Winkel.

Hinweise

- Schalten Sie die Lampen zwischendurch nicht aus. Eine heiße Gasentladungslampe darf nicht gestartet werden, das würde ihre Lebensdauer verkürzen.
- Fassen Sie das Prisma nur an den matten Flächen an.

Durchführung

- Bestimmen Sie ohne Prisma die Winkelposition des unabgelenkten Lichtstrahls.
- Halten Sie die Nummer des von Ihnen benutzten Prismas fest.
- Richten Sie das Prisma mit der brechenden Kante gegen den Kollimator und bestimmen Sie durch die beiden seitlichen Reflexionen den brechenden Winkel.
- Bringen Sie das Prisma in die abgebildete Lage und suchen Sie das Spektrum zunächst von Auge, dann im Fernrohr.
- Um genaue Messungen durchführen zu können muss das Gerät sorgfältig justiert sein. Spalt und Fadenkreuz des Fernrohrs müssen sich in den Brennebenen der zugehörigen Objektive befinden. Die Einstellung des Fernrohrs auf unendlich vollzieht man durch Scharfstellen eines sehr fernen Gegenstandes, indem man das Okular verschiebt. Spalt und Prismenflächen müssen parallel zur Drehachse des Fernrohrs verlaufen. Das Auflösungsvermögen wächst mit abnehmender Spaltbreite, zugleich wird jedoch die Lichtintensität des Spektrums geringer (Optimum: Fadenkreuz noch knapp sichtbar).
- Stellen Sie für die erste Spektrallinie die Minimalablenkung durch Drehen des Prismas ein und lesen Sie den Winkel ab (siehe Abbildung 3). Bringen Sie Fadenkreuz und Linie zur Deckung und lesen Sie den Fernrohrwinkel an der Winkelskala und am Nonius ab.

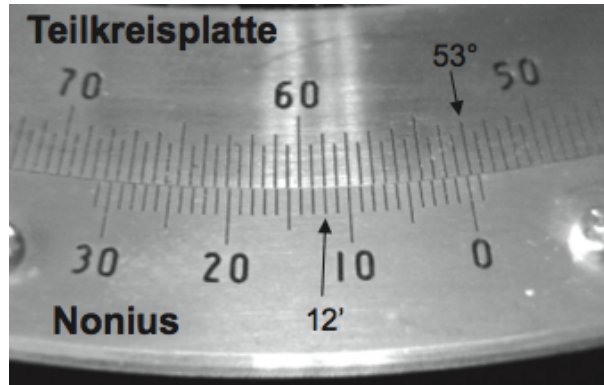


Abbildung 3: Die Spektrometer besitzen einen Nonius der den Winkel in Bogenminuten angibt. Das Ablesen geschieht folgendermassen: Lesen Sie zunächst den Winkel der Teilkreisskala mit dem Nullteilstrich des Nonius auf 0.5° genau ab. Im oberen Bild beträgt der Winkel 53° , da der Nullteilstrich zwischen 53° und 53.5° liegt. Die Nachkommastellen werden mit dem Nonius abgelesen. Beachten Sie, dass der Nonius in Bogenminuten geeicht ist. Dabei entsprechen die 30 Skalenteile ($30'$ entspricht 30 Bogenminuten) einem halben Grad. Sie müssen nun den Teilstrich des Nonius suchen der genau unter einem Teilstrich der Kreisskala steht. Im Bild ist dies der Teilstrich 12. Das Ergebnis der Winkelmessung ist demnach $53^\circ 12'$ bzw. im Gradmass: $53^\circ + (12'/60') = 53.2^\circ$.

- g) Wiederholen Sie die Winkelmessung für alle deutlich sichtbaren Spektrallinien (vgl. Tabelle in der FoTa). Stellen Sie vor jeder Ablesung sicher, dass der Strahl minimal abgelenkt wird!
- h) Drehen Sie das Prisma so, dass das Spektrum auf der anderen Seite des Strahls erscheint und wiederholen Sie die Winkelmessungen. (Die Differenz zwischen den Winkeln der beiden Messungen entspricht gerade dem doppelten Ablenkwinkel. Man erspart sich so die Bestimmung der Richtung des unabgelenkten Strahls.)
- i) Betrachten Sie die Spektren verschiedener Lichtquellen (z.B. mit Handspektrometer) und skizzieren Sie diese im Protokoll.
- j) Falls Zeit vorhanden ist: Messen Sie ein paar Spektrallinien von einer andere Lichtquelle (Natriumlampe oder Wasserstofflampe).

Auswertungen

- 1) Theorie: Erklären Sie wie eine Gasentladungslampe funktioniert. Wie entstehen Spektrallinien?
- 2) Berechnen Sie für jede Spektrallinie die Brechzahl und stellen Sie die Dispersionskurve $n(\lambda)$ graphisch dar (ganze A4-Seite).
- 3) Die unten abgebildete Tabelle zeigt die Brechzahlen einiger Glassorten zu ausgewählten Wellenlängen (Quelle: Handbook of Chemistry and Physics; 50th Edition). Bestimmen Sie die entsprechenden Brechzahlen aus der graphischen Darstellung und entscheiden Sie, aus welcher Glassorte Ihr Prisma bestehen könnte.

Wellenlänge	434 nm	486 nm	589 nm	656 nm
Zink Kron	1.528	1.523	1.517	1.514
Kron, hohe Dispersion	1.533	1.527	1.520	1.517
leichtes Flint	1.594	1.585	1.575	1.571
schweres Flint	1.675	1.664	1.659	1.644

- 4) Welche qualitativen Unterschiede bestehen zwischen dem Spektrum einer Gasdampf Lampe und demjenigen einer Glühlampe? Bei welchen Farben bricht das Spektrum ab? Welche möglichen Erklärungen gibt es für das Abbrechen? Welche ist wohl richtig?
- 5) Zusatz: Anhang der Kalibrierkurve mit Hg-Lampe können die Spektrallinien der unbekannten Lichtquelle die zugehörigen Wellenlängen zugeordnet werden. Aus diesen wird anschliessend durch Vergleich mit einem Tabellenwerk die Lichtquelle bestimmt.

Bedingungen

Falls Sie einen Bericht schreiben, geben Sie diesen mit der vollständigen Auswertung (inkl. Vorbereitung) ab. Für eine Auswertung ohne Bericht bearbeiten Sie mindestens die Vorbereitung und die Aufgaben 2) und 3) ohne Fehlerrechnung.

Abgabetermin ist:

Anhang: Wellenlängen des Quecksilberspektrums

Farbe	Intensität	Wellenlänge λ (nm)
dunkelrot	mittelstark	690.8
rot	schwach	623.4
gelb I	stark	579.1
gelb II	stark	577.0
grün	stark	546.1
blaugrün	mittelstark	491.6
indigo	stark	435.8
violett I	mittelstark	407.7
violett II	mittelstark	404.7

Literatur

- Duden Physik Abitur, Abschnitt 6.5.1 “Spektren und Spektralanalyse”
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Prismenspektrometer>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilberdampf Lampe>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Sellmeier_equation
- <http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>