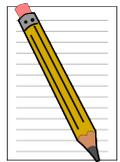


D05 - Emissionsspektren

In diesem Versuch werden Sie verschiedene Lichtquellen mit einem Prismenspektrometer untersuchen. Wie sehen die Spektren von Glühlampe, Neonröhre, Leuchtdiode oder Laserpointer aus? Sie werden das Prismenspektrometer mit einer Spektrallampe, bei der man das emittierte Linienspektrum sehr genau kennt, zunächst kalibrieren und die Dispersion des Prismas ermitteln.

Schriftliche Vorbereitung:

- Begriffsklärung: Gasentladungslampe, optischer Spalt, Kollimator, Goniometer, Ablenkwinkel, Linienspektrum, Absorptionsspektrum, Photonenenergie, Energieniveau, Brechungsindex.
- Wie wird der Lichtstrahl beim Übergang vom optisch dichteren Medium zum optisch dünneren Medium und umgekehrt gebrochen?
- Das Brechungsgesetz von Snellius beschreibt den Zusammenhang von Einfallswinkel α und Ausfallswinkel β an einer optischen Grenzfläche (Übergang Medium 1 (n_1) zu Medium 2 (n_2)). Skizzieren Sie den Verlauf $\beta(\alpha)$.
- Skizzieren Sie den qualitativen Strahlengang durch ein Prisma.
- Warum kann man mit einem Prisma Lichtquellen spektral untersuchen? Erläutern Sie den Begriff der Dispersion.
- Wie entstehen Linienspektren? Erklären Sie unter Verwendung der Begriffe Photonenenergie und Energieniveau.



1 Grundlagen:

Bei einem Prisma wird der einfallende Strahl zweimal von der brechenden Kante im gleichem Sinn weg gebrochen. Dabei wird rotes Licht weniger gebrochen als blaues. Mit Prismen kann man daher Lichtquellen auf ihre Farbanteile untersuchen.

Ein auswertbares Spektrum erhält man nur, wenn das Prisma von einem parallelen Strahlenbündel durchsetzt wird. In einem Prismenspektrometer steht daher der beleuchtete Spalt in der Brennebene der Linse L_1 . Im Prisma spaltet sich das Parallellichtbündel entsprechend seiner Zusammensetzung in Teilbündel unterschiedlicher Wellenlängen auf. Diese verlassen das Prisma in verschiedenen Richtungen und werden von der Linse L_2 des schwenkbaren Fernrohrs in die Zwischenbildebene ZB fokussiert. In der Zwischenbildebene ist ein Fadenkreuz angebracht. Bringt man dies mit der zu untersuchenden Linien zur Deckung, so lässt sich auf dem Goniometer der Ablenkwinkel δ ablesen.

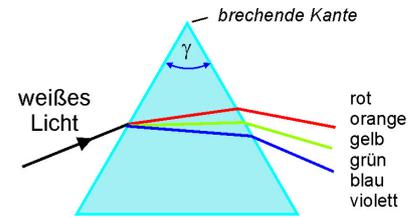


Abbildung 1: Ein Prisma zerlegt das einfallende Licht in seine Spektralfarben.

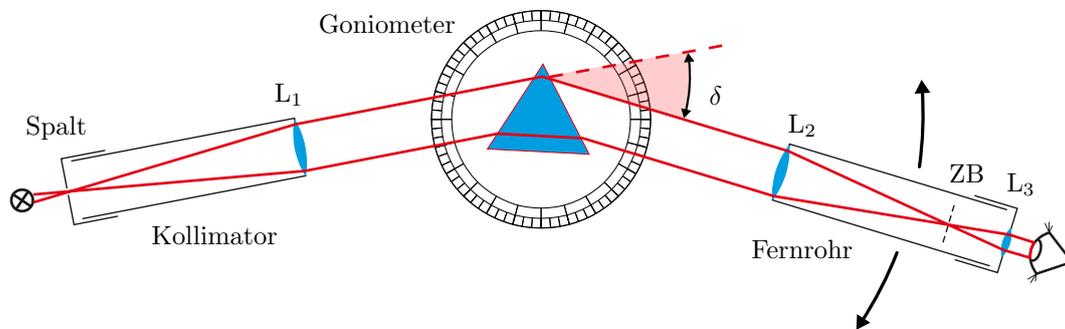


Abbildung 2: Strahlengang in einem Prismenspektroskop.

Sichtbar im Fernrohr:

Bei einem breiten Spalt erhält man in der Zwischenbildebene für jede Spektrallinie auch ein breites Spaltbild. Die Linien leuchten kräftig und sind gut zu erkennen. Der Nachteil ist nur, wenn zwei Linien sehr dicht zusammen liegen, überlappen sich ihre Bilder und lassen sich nicht mehr unterscheiden. Zum Auffinden des Spektrums arbeitet man daher zuerst mit einem breiten Spalt, zum Messen stellt man ihn dann möglichst schmal.

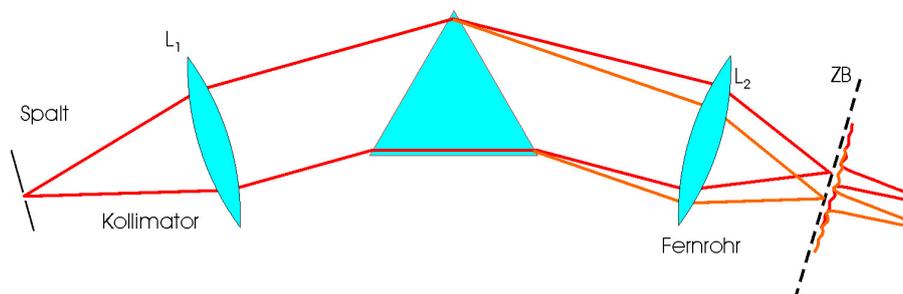


Abbildung 3: Der Spalt ist hier so schmal eingestellt, dass sich die beiden Spektrallinien gut trennen lassen.

Unterhalb einer bestimmten Spaltbreite sieht man in der Zwischenbildebene jedoch nicht mehr das eigentliche Bild des Spaltes. Da das Prisma bildseitig das Parallelstrahlbündel begrenzt, wirkt es wie ein weiterer Spalt. Ein sehr enger Eingangsspalt erzeugt kohärentes Licht und es entstehen Beugungsfiguren durch diese Begrenzung wie an jedem Spalt, der kohärent beleuchtet wird. Die Breiten der beobachtbaren Spektrallinien sind also apparatbedingt. Die natürlichen Linienbreiten sind tatsächlich wesentlich schmaler.

Bei symmetrischem Strahlengang wird alles viel einfacher:

In der Praxis sind bei einem Spektralapparat Kollimator und Goniometer starr miteinander verbunden, Prisma und Fernrohr lassen sich drehen. Der Ablenkwinkel δ hängt daher auch von der Stellung des Prismas auf dem Goniometer ab, da sich mit ihr der Einfallswinkel α ändert.

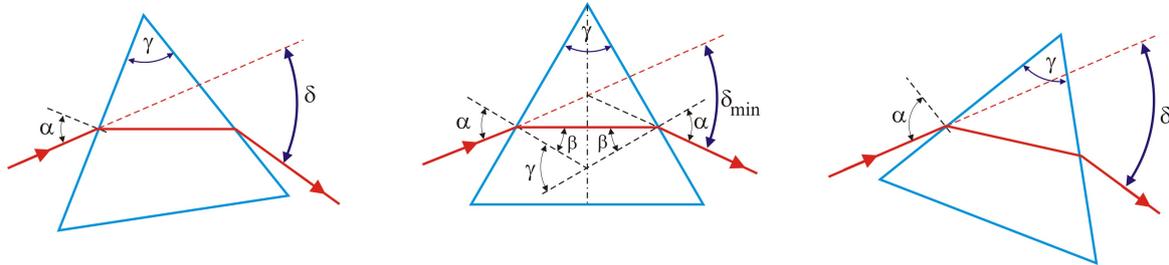


Abbildung 4: Der Strahl fällt hier in allen drei Stellungen aus der gleichen Richtung auf das Prisma. Dreht man das Prisma nach rechts, wird der Einfallswinkel α größer. Beim symmetrischen Strahlengang in der Mitte ist der Ablenkwinkel δ am kleinsten.

Durch Anwendung des Brechungsgesetzes lässt sich der Ablenkwinkel δ für jeden beliebigen Einfallswinkel α berechnen. Besonders einfach wird dieser Zusammenhang jedoch, wenn man einen symmetrischen Strahlengang benutzt. Der Ablenkwinkel δ wird bei symmetrischem Strahlengang minimal, und es gilt dann:

$$n(\lambda) = \frac{\sin \frac{\gamma + \delta_{\min}(\lambda)}{2}}{\sin \frac{\gamma}{2}}.$$

n : Brechungsindex
 γ : Winkel der brechenden Kante
 δ : Ablenkwinkel

Dieser minimale Ablenkwinkel lässt sich experimentell leicht beobachten. Im Versuch wird diese Beziehung daher ausgenutzt, um die Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex $n = n(\lambda)$ zu bestimmen.

2 Experimente:

Messung der Dispersion

Das Prisma wird mit einer Cadmium-Dampfampe beleuchtet.



Abbildung 5: Spektrum der Cd Lampe. Quelle: National Institute of Standards and Technology <http://physics.nist.gov/asd>

Justierung des Prismenspektrometers

Das Spektrometer muss zunächst auf parallelen Strahlengang eingestellt werden. Verschieben Sie bei breitem Eingangsspalt die Augenlinse L_2 des Fernrohrs scharf auf das Fadenkreuz. Beginnen Sie bitte mit den Messungen erst, wenn Ihr Assistent die Einstellung kontrolliert hat.

Bestimmung des brechenden Winkels γ

Wenn die brechende Kante wie in Abb. 6 direkt zum Kollimator ausgerichtet wird, findet keine Dispersion statt. Das Strahlbündel wird lediglich geteilt und an den beiden Seitenflächen des Prismas jeweils reflektiert.

Richten Sie in den Stellungen A und B das Fadenkreuz im Fernrohr auf das Reflexbild des Kollimatorspaltes aus. Auf der Winkelskala lässt sich die Stellung des Fernrohrs auf $1'$ genau ablesen.

(M1) Beide Einstellungen und Messungen jeder von Ihnen einmal.

(A1) Bestimmen Sie aus Ihren Messdaten γ , den brechenden Winkel des Prismas.

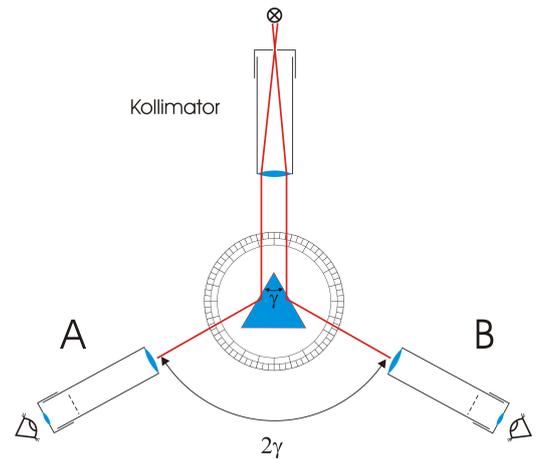


Abbildung 6: In dieser Anordnung sieht man keine Spektralfarben, nur das türkise Licht der Cd-Lampe wird reflektiert.

Bestimmung des minimalen Ablenkungswinkels β für jede Spektrallinie

Suchen Sie in den Stellungen A des Prismas relativ zum Kollimator das Spektrum auf. Zur Bestimmung des minimalen Ablenkungswinkels drehen Sie den Prismenstisch und verfolgen die zu messende Linie im Fernrohr. An einer bestimmten Stellung kehrt sich – bei gleich bleibender Drehrichtung des Prismenstisches – die Bewegung der Linie im Fernrohr um.

(M2) In dieser Minimumstellung bringen Sie das Fadenkreuz mit der Spektrallinie zur Deckung und lesen den Einstellungswinkel $\delta_{\min, \text{links}}$ des Fernrohrs ab. Mit dem gleichem Verfahren werden alle deutlich sichtbaren Linien ausgemessen.

Tipp: Notieren Sie sich für (M4) und (M5) die Position des Prismenstisches

(M3) Wiederholen Sie die Messungen für die Stellungen B des Prismas, in der $\delta_{\min, \text{rechts}}$ ermittelt wird.

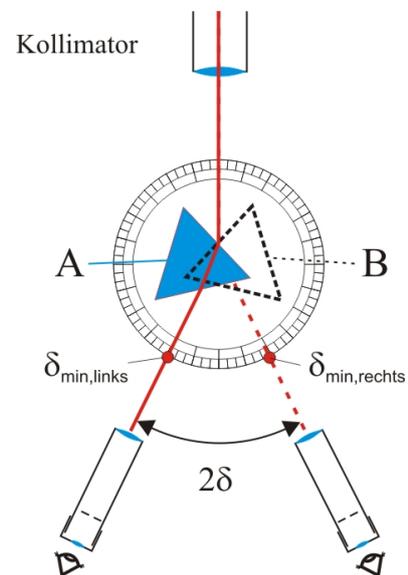


Abbildung 7: Bestimmung des minimalen Ablenkungswinkels

So könnte die Tabelle in Ihrem Heft aussehen:

Farbe	λ in nm	$\delta_{\min, \text{links}}$	$\delta_{\min, \text{rechts}}$	δ_{\min}	n
rot	644				
grün					
⋮					

(A2) Stellen Sie graphisch λ als Funktion von δ_{\min} dar $\lambda = \lambda(\delta_{\min})$ und erstellen sie einen Fit(exponentiell fallend) zu ihren Messwerten.

δ_{\min} ist dabei der halbe Winkel zwischen $\delta_{\min, \text{links}}$ und $\delta_{\min, \text{rechts}}$.

(A3) Berechnen Sie für jede Spektrallinie den Brechungsindex n und stellen Sie graphisch $n = n(\lambda)$ dar.

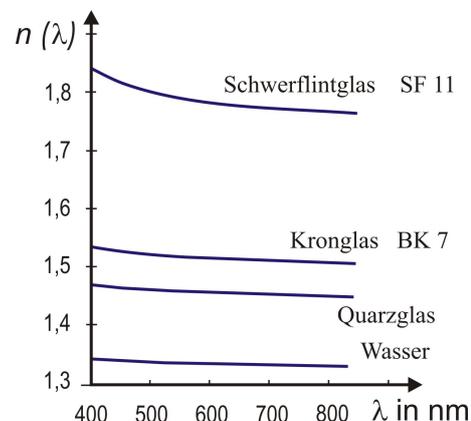


Abbildung 8: Der Brechungsindex hängt von der Glassorte des Prismas und der Wellenlänge ab. Bei normaler Dispersion wird der Brechungsindex n bei größeren Wellenlängen kleiner.

- (A4) Bestimmen sie die Glassorte des verwendeten Prismas und begründen sie ihr Ergebnis.
- (A5) Ermitteln Sie den absoluten Fehler Δn für $\lambda = 508,6 \text{ nm}$ unter der Voraussetzung, dass die Messung des brechenden Winkels γ exakt ist und die Messung des Winkels 2δ auf $\pm 0,01$ Grad genau ist.

Wo liegen die Grenzen Ihres Sehvermögens

Beleuchten Sie den Spalt mit eine Glühlampe. Das Prisma erzeugt ein kontinuierliches Spektrum.

- (M4) Messen Sie die obere und untere Grenze des Spektrums bei symmetrischem Strahlengang wie in (M2) und (M3).
- (A6) Berechnen Sie mit Hilfe ihrer Fitgleichung ihre eigenen beiden Grenzwellenlängen.
- (A7) Welche Annahmen, Fehler gehen hier ein?

Welche Spektrallampe leuchtet?

Ersetzen Sie die weiße Lichtquelle durch eine unbekannte Spektrallampe, die Sie am Arbeitsplatz finden.

- (M5) Bestimmen Sie im symmetrischen Strahlengang die minimalen Ablenkwinkel wie in (M2) und (M3) für die deutlich sichtbaren Linien.
- (A8) Aus der Eichkurve $\lambda = \lambda(\delta_{\min})$ sind die Wellenlängen zu berechnen.
- (A9) Welches Gas leuchtet hier? Begründen sie wissenschaftlich fundiert ihr Ergebnis. Sie finden im Praktikum eine Abbildung mit den Spektrallinien aller gängigen Spaktrallampen.
- (A10) Wie groß ist hier der Fehler der Wellenlängenmessung bei diesem Verfahren(Fehleranalyse und Diskussion)?

Literatur

- [1] Demtröder, W.(2013): *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik* Springer, <http://opac.tib.uni-hannover.de/DB=1/XMLPRS=N/PPN?PPN=737551577>
- [2] Bergmann/ Schäfer.(1974): *Optik* de Gruyter, <http://opac.tib.uni-hannover.de/DB=1/XMLPRS=N/PPN?PPN=126066973>
- [3] Meschede, D. (2015): *Gerthsen Physik* Springer Spektrum, <http://opac.tib.uni-hannover.de/DB=1/XMLPRS=N/PPN?PPN=819545147>

Prismen und Dispersion werden in Mittelstufenbüchern beschrieben.

