

# A1P Lichtspektrometrische Untersuchungen

## Grundlagen

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen, die Lichtgeschwindigkeit, beträgt im Vakuum per Definition  $c_0 = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ . In Medien ist die Lichtgeschwindigkeit  $c < c_0$ . Das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zu der im Medium  $n = c_0/c$  wird als Brechungsindex bezeichnet. Wenn die Geschwindigkeit einer Welle von ihrer Frequenz abhängt, so wie das bei Licht in Medien der Fall ist, spricht man von Dispersion. Meist wird jedoch die Abhängigkeit  $n = n(\lambda)$  betrachtet.<sup>1</sup>

Die Brechzahl von Feststoffen lässt sich nach einem einfachen Modell mit

$$n^2 = 1 + \frac{a\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_a^2} \quad (1)$$

darstellen.  $a$  und  $\lambda_a$  sind materialabhängige Konstanten, wobei letztere die Wellenlänge des Lichtes bei der die Elektronen des betreffenden Stoffes in Resonanz gelangen, ist.<sup>2</sup> Bei Annäherung an diese Wellenlänge steigt die Brechzahl. Nähert man sich von größeren Wellenlängen kommend, spricht man von normaler, andernfalls von anomaler Dispersion.

Das Dispersionsvermögen optischer Materialien kann an Hand einer einzigen Kenngröße, der Abbeschen Zahl, abgeschätzt werden. Sie ist mit

$$\nu_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}} \quad (2)$$

definiert. Die Indizes sind nach den ihnen entsprechenden Fraunhoferlinien bezeichnet. Die Wellenlängen dieser Linien betragen  $\lambda_e = 546,07\text{ nm}$  (grüne Quecksilberlinie),  $\lambda_{F'} = 479,99\text{ nm}$  (blaue Kadmiumlinie) und  $\lambda_{C'} = 643,85\text{ nm}$  (rote Kadmiumlinie).

Auf Grund unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeiten bzw. Brechzahlen in verschiedenen Medien kommt es an der Grenzfläche zwischen ihnen zur Brechung. Bezeichnen  $\alpha$  und  $\beta$  den Einfallswinkel und Ausfallswinkel bezüglich des Lotes gilt

$$\frac{\sin \alpha}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_2} \quad (3)$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta.$$

Wegen der Dispersion werden die im weißen Licht enthaltenen verschiedenen Wellenlängenanteile unterschiedlich stark gebrochen und so das Licht in seine spektralen Bestandteile zerlegt, so dass das Spektrum des Lichtes beobachtet werden kann.

<sup>1</sup>Wegen  $c = \lambda f$ . Beachtet werden muss hierbei, dass mit  $\lambda$  die Wellenlänge außerhalb des Mediums gemeint ist.

<sup>2</sup>Die Wellenlänge liegt normalerweise im Ultravioletten und ist gleichzeitig die Wellenlänge maximaler Absorption. Die hier nicht berücksichtigte Schwingungsfrequenz der Ionen liegt im Infrarotbereich und bei der zugehörigen Wellenlänge erfolgt ebenfalls maximale Absorption.

Im Folgenden soll die Brechung eines sonst in Luft<sup>3</sup> verlaufenden Lichtstrahls an einem Prisma der Brechzahl  $n$  betrachtet werden. Zur Vereinfachung wird ein symmetrischer

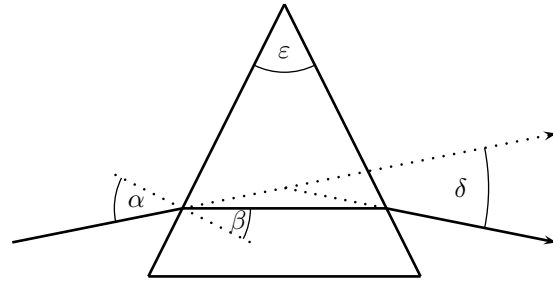


Abbildung 1: Strahlengang am Prisma

Strahlengang durch das Prisma angenommen, welcher sich durch eine minimale Winkelablenkung  $\delta$  auszeichnet. Beim Lichteintritt in das Prisma wird der Strahl gerade um  $\delta/2$  gebrochen, so dass  $\alpha = \delta/2 + \beta$  gilt. Mit  $\beta = \epsilon/2$  folgt mit dem Brechungsgesetz (3)

$$\sin \left( \frac{\epsilon}{2} + \frac{\delta}{2} \right) = n \sin \frac{\epsilon}{2}. \quad (4)$$

Die Aufspaltung des Lichtes kann zur Spektralanalyse genutzt werden. Sie wurde durch Kirchhoff und Bunsen 1859 begründet. Das Spektrum des einfachsten Atoms, des Wasserstoffatoms, kann empirisch mit einer von Rydberg gefundenen Serienformel beschrieben werden.<sup>4</sup>

$$\lambda_{n_1, n_2} = \frac{c_0}{R_f (1/n_1^2 - 1/n_2^2)} \quad (5)$$

$R_f$  ist die empirisch ermittelte Rydbergfrequenz. Mit dem Bohrschen Atommodell ergeben sich für die im Wasserstoffatom möglichen Energien des Elektrons der Masse  $m_e$  und der Ladung  $e_0$  mit dem Planckschen Wirkungsquantum  $h$  und der elektrischen Feldkonstante  $\epsilon_0$

$$E_n = -\frac{m_e e_0^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}, \quad (6)$$

woraus die Serienformel (5) für Übergänge zwischen verschiedenen Hauptquantenzahlen  $n_1$  und  $n_2$  und der Wert der Rydbergfrequenz unmittelbar folgt.

<sup>3</sup>Die Brechzahl von Luft wird in guter Näherung 1 gesetzt.

<sup>4</sup>Die Serienformel läßt sich ebenfalls bei wasserstoffähnlichen Atomen, bei dem im Wesentlichen ein einzelnes Leuchtelektron für die Lichtaussendung zuständig ist, mit kleineren Modifikationen verwenden.

## Versuchsvorbereitung

- Brechung, Brechungsgesetz, Fermatsches Prinzip
- Beugung, Interferenz am Spalt
- Ursache von Dispersion, normale und anomale Dispersion
- Berechnen Sie den Ablenkwinkel für einen symmetrisch durch ein gleichseitiges Prisma der Brechzahl  $n = 1,6$  verlaufenden Lichtstrahl.
- Entsprechend Abbildung 2 wird zur Messung des Prismenwinkels  $\varepsilon$  ein aufgeweiteter Lichtstrahl<sup>5</sup> auf die zu vermessende Kante des Prismas gelenkt. Aus dem Winkel  $\varphi$  zwischen den an den beiden Prismenflächen reflektierten Strahlen kann  $\varepsilon$  berechnet werden. Leiten Sie den benötigten Zusammenhang  $\varphi(\varepsilon)$  her.

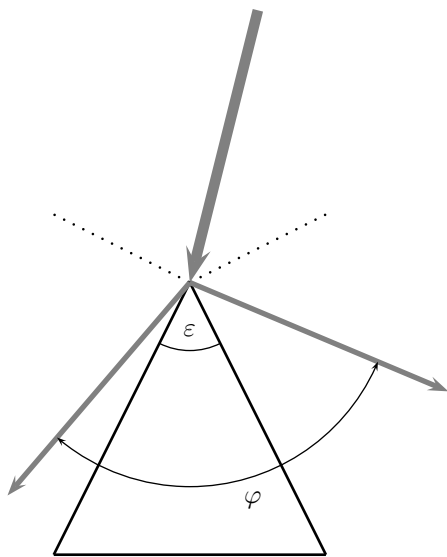


Abbildung 2: Bestimmung des Prismenwinkels

- Ablesen eines Nonius
- Funktionsweise von Gasentladungslampen
- Energie-, Frequenz- und Wellenlängenbereich von sichtbarem Licht
- Ursache und Aussehen verschiedener Spektrenarten (Emissions- und Absorptionsspektrum, kontinuierliches, Linien- und Bandenspektrum)
- Bohrsches Atommodell
- Termschema von Wasserstoff
- Lyman-, Balmer- Paschenserie
- Berechnen sie die Rydbergfrequenz mit (5) und (6).

<sup>5</sup>Der Einfallswinkel ist i.Allg. nicht symmetrisch zum Prisma, jedoch in einem Bereich, in dem der Strahl auf beiden Prismenflächen reflektiert wird.

## Aufgaben

- Bestimmen Sie den benötigten Prismenwinkel  $\varepsilon$ .
- Messen<sup>6</sup> und zeichnen Sie die Winkelablenkung des Prismas. Benutzen Sie die bekannten Spektrallinien einer Gasentladungslampe.
- Berechnen Sie die Brechzahlen. Zeichnen Sie die Dispersionskurve  $n(\lambda)$  des Prismas.
- Stellen Sie  $1/(n^2 - 1)$  über  $1/\lambda^2$  dar. Berechnen Sie aus dem Anstieg und der Verschiebung der erhaltenen Gerade  $\lambda_a$ .
- Berechnen Sie die Abbesche Zahl für die verwendeten Materialien.<sup>7</sup>
- Führen Sie eine Fehlerschätzung für eine Brechzahl durch. Bestimmen Sie den Fehler für eine Abbesche Zahl. Nehmen Sie dazu an, dass der Fehler aller Brechzahlen identisch ist.
- Messen Sie die Winkelablenkung für die sichtbaren Linien des Wasserstoffspektrums und ermitteln Sie mit Hilfe der Dispersionskurve des Prismas die Wellenlängen. Schätzen Sie deren Fehler an Hand der Grafik ab.
- Berechnen Sie die Rydbergfrequenz.
- Berechnen Sie den Fehler Ihrer Messung.

<sup>6</sup>Um einen symmetrischen Strahlengang zu gewährleisten, muss das Prisma bei jeder verwendeten Wellenlänge so ausgerichtet werden, dass der Ablenkwinkel  $\delta$  minimal wird.

<sup>7</sup>Die benötigten Brechzahlen können durch Inter- bzw. Extrapolation aus der Grafik entnommen werden.