

A1 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.¹ Auf Grund unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeiten bzw. Brechzahlen in verschiedenen Medien kommt es an der Grenzfläche zwischen ihnen zur Brechung. Bezeichnen α und β den Einfallswinkel und Ausfallswinkel bezüglich des Lotes gilt

$$\frac{\sin \alpha}{c_1} = \frac{\sin \beta}{c_2} \quad (1)$$

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

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.

Im Folgenden soll die Brechung eines sonst in Luft² verlaufenden Lichtstrahls an einem Prisma der Brechzahl n betrachtet werden.

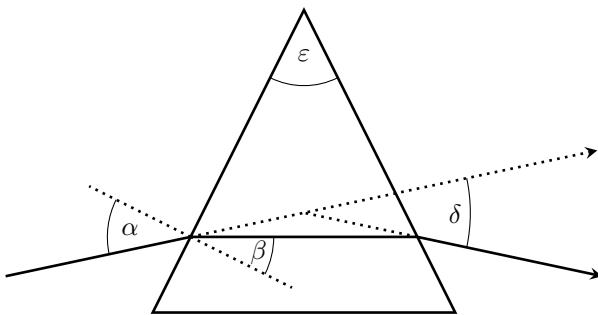


Abbildung 1: Strahlengang am Prisma

Zur Vereinfachung wird ein symmetrischer Strahlengang durch das Prisma angenommen, welcher sich durch eine minimale Winkelablenkung δ 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 (1)

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

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.³

$$\lambda_{n_1, n_2} = \frac{c_0}{R_f \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)} \quad (3)$$

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 ϵ_0

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

woraus die Serienformel (3) für Übergänge zwischen verschiedenen Hauptquantenzahlen n_1 und n_2 und der Wert der Rydbergfrequenz unmittelbar folgt.

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

²Die Brechzahl von Luft wird in guter Näherung 1 gesetzt.

³Die Serienformel lässt sich ebenfalls bei wasserstoffähnlichen Atomen, bei denen im Wesentlichen ein einzelnes Leuchtelektron für die Lichtaussendung zuständig ist, mit kleineren Modifikationen verwenden.

Versuchsvorbereitung

- Brechung, Brechungsgesetz, Fermatsches Prinzip
- Berechnen Sie den Ablenkwinkel für einen symmetrisch durch ein gleichseitiges Prisma der Brechzahl $n = 1,6$ verlaufenden Lichtstrahl.
- Ablesen eines Nonius
- Funktionsweise von Gasentladungslampen
- Energie-, Frequenz- und Wellenlängenbereich von sichtbarem Licht
- Bohrsches Atommodell
- Termschema von Wasserstoff
- Lyman-, Balmer- Paschenserie
- Leiten Sie die Serienformel (3) aus den Energien (4) ab. Welcher Ausdruck ergibt sich für die Rydbergfrequenz? Berechnen Sie diese!

Aufgaben

- Messen und zeichnen Sie die Winkelablenkung des Prismas.⁴ Benutzen Sie die bekannten Spektrallinien einer Gasentladungslampe.
- 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.
- Bestimmen Sie die Wellenlängen der Spektrallinien einer unbekannten Gasentladungslampe. Um welchen Füllstoff könnte es sich handeln?

⁴Um einen symmetrischen Strahlengang zu gewährleisten, muss das Prisma bei jeder verwendeten Wellenlänge so ausgerichtet werden, dass der Ablenkwinkel δ minimal wird.