


ZIEL

Einrichtung und Kalibrierung eines Prismenspektrometers

ZUSAMMENFASSUNG

In einem Prismenspektrometer wird die Zerlegung des Lichts in seine Spektralfarben beim Durchgang durch ein Prisma genutzt, um optische Spektren zu messen. Zur Messung der Wellenlängen ist eine Kalibrierung erforderlich, da diese Winkeldispersion nicht linear ist. Im Experiment wird das „bekannte“ Spektrum einer Hg-Lampe zur Kalibrierung verwendet und anschließend das „unbekannte“ Spektrum einer Cd-Lampe vermessen.

AUFGABEN

- Justierung des Prismenspektrometers und Kalibrierung mit den Spektrallinien einer Hg-Lampe.
- Messung des minimalen Ablenkwinkels bei $\lambda = 546,07 \text{ nm}$.
- Bestimmung der Brechzahl von Flintglas bei $\lambda = 546,07 \text{ nm}$ sowie der Cauchy-Parameter b und c der wellenlängenabhängigen Brechzahl.
- Berechnung einer Kalibrierkurve nach der Hartmann'schen Dispersionsformel.
- Ausmessung eines unbekanntes Linienspektrums.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Spektrometer-Goniometer	1002912
1	Drossel für Spektrallampen (230 V, 50/60 Hz)	1003196 oder
	Drossel für Spektrallampen (115 V, 50/60 Hz)	1003195
1	Spektrallampe Hg/Cd	1003546
1	Spektrallampe Hg 100	1003545

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Mit einem Prismenspektrometer werden optische Spektren gemessen, indem die Zerlegung des Lichts in seine Spektralfarben beim Durchgang durch das Prisma genutzt wird. Diese Dispersion ist auf die Abhängigkeit der Brechzahl des Prismenglases von der Wellenlänge zurückzuführen. Sie ist nicht linear, daher ist eine Kalibrierung erforderlich, um Wellenlängen mit dem Prismenspektrometer messen zu können.

Im Spektrometer fällt das untersuchte Licht durch den Spalt S auf das Objektiv O_1 , das zusammen mit dem Spalt einen Kollimator bildet und ein breites, paralleles Lichtbündel erzeugt (siehe Abb. 1). Nach zweifacher Brechung durch das Prisma tritt das Bündel parallel aus und wird in der Brennebene des Objektivs O_2 zu einem Bild des Spaltes vereinigt, welches durch das Okular OC beobachtet wird. Dazu ist das aus Objektiv O_2 und Okular OC gebildete Fernrohr an einem schwenkbaren Arm befestigt, der fest mit dem Nonius N verbunden ist.

Die zweifache Brechung des Lichts durch das Prisma lässt sich durch die Winkel α_1 , α_2 , β_1 und β_2 beschreiben (siehe Abb. 2). Für ein gleichseitiges Prisma gilt

$$(1) \quad \sin \alpha_1 = n(\lambda) \cdot \sin \beta_1(\lambda), \quad n(\lambda) \cdot \sin \beta_2(\lambda) = \sin \alpha_2(\lambda), \quad \beta_1(\lambda) + \beta_2(\lambda) = 60^\circ.$$

Der Eintrittswinkel α_1 lässt sich durch Drehen des Prismas im parallelen Eintrittsbündel verändern. Die Winkel α_2 , β_1 und β_2 hängen von der Wellenlänge λ ab, da die Brechzahl n wellenlängenabhängig ist. Aus dem Eintrittswinkel α_1 und dem Austrittswinkel α_2 ergibt sich der Ablenkwinkel

$$(2) \quad \delta(\lambda) = \alpha_1 + \alpha_2(\lambda) - 60^\circ$$

zwischen Kollimator und Fernrohr. Er erreicht ein Minimum δ_{\min} , wenn der Strahlengang symmetrisch zum Prisma verläuft. Dann ist die Winkeldispersion $d\delta/d\lambda$ gerade maximal. Daher wird das Prismenspektrometer so justiert, dass der symmetrische Strahlengang für eine Bezugswellenlänge λ_0 erreicht

wird. Im Experiment wird hierfür die grüne Spektrallinie ($\lambda_0 = 546,07 \text{ nm}$) einer Hg-Spektrallampe gewählt.

Aus dem minimalen Ablenkwinkel lässt sich die Brechzahl des Prismas bei der Bezugswellenlänge bestimmen. Denn wegen der Symmetrie gilt $\beta_1(\lambda_0) = \beta_2(\lambda_0) = 30^\circ$ und $\alpha_2(\lambda_0) = \alpha_1$ und somit

$$(3) \quad \sin \alpha_1 = n(\lambda_0) \cdot \frac{1}{2} \quad \text{mit} \quad \alpha_1 = \frac{\delta_{\min}}{2} + 30^\circ.$$

Durch die Dispersion sind die übrigen Spektrallinien gegenüber δ_{\min} um kleine Winkel $\Delta\delta$ verschoben. Sie werden mit Hilfe des Nonius auf die Winkelminute genau abgelesen. Da auch die Änderung Δn der Brechzahl über den gesamten sichtbaren Bereich klein ist, reicht es ausschließlich die linearen Terme der Änderungen zu betrachten. Daher ergibt sich aus den Gln. 1 – 3 der folgende Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Ablenkung:

$$(4) \quad \Delta\delta(\lambda) = \Delta\alpha_2(\lambda) = \frac{\Delta n(\lambda)}{\cos \alpha_1} = \frac{\Delta n(\lambda)}{\sqrt{1 - \frac{(n(\lambda_0))^2}{4}}}$$

Im sichtbaren Bereich des Spektrums nimmt die Brechzahl n mit zunehmender Wellenlänge λ ab. Dies kann durch die Cauchy-Gleichung in der Form

$$(5) \quad n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$$

beschrieben werden.

Aus (4) und (5) lässt sich im Prinzip eine mathematische Beschreibung für eine Kalibrierkurve gewinnen. Besser geeignet ist jedoch die Hartmann'sche Dispersionsformel

$$(6) \quad \delta(\lambda) = \delta_H + \frac{K}{\lambda - \lambda_H}$$

mit den Anpassungsparametern δ_H , K und λ_H , die aber keine besondere physikalische Bedeutung haben.

Im Experiment werden daher die Spektrallinien der Hg-Spektrallampe unter Verwendung von (6) zur Kalibrierung herangezogen und anschließend die Linien eines „unbekannten“ Spektrums vermessen (siehe Tab. 1).

AUSWERTUNG

Aus Gl. 3 folgt die Brechzahl $n(\lambda_0)$. Die Cauchy-Parameter der Brechzahl lassen sich in der Darstellung $\Delta n = n(\lambda) - n(\lambda_0) = f(1/\lambda^2)$ aus einer Parabelanpassung berechnen.

Tab.1: Wellenlängen der Cd-Spektrallinien

Bezeichnung	Messung λ / nm	Literaturwert λ / nm
blau (mittel)	466	466
blau (stark)	468	468
blaugrün (mittel)	479	480
dunkelgrün (stark)	509	509
dunkelgrün (schwach)	515	516
rot (stark)	649	644

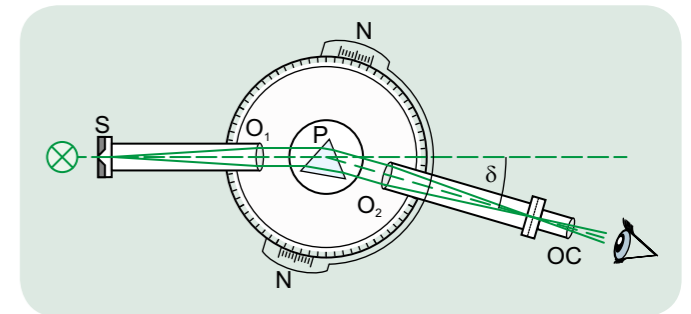
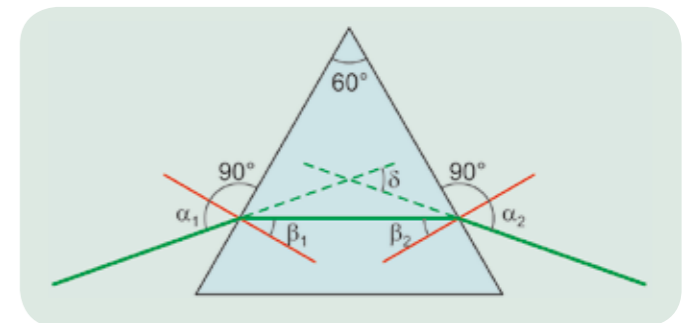

 Abb. 1: Schematische Darstellung eines Prismenspektrometers. S: Eintrittspalt, O_1 : Objektiv des Kollimators, P: Prisma, O_2 : Objektiv des Fernrohres, OC: Okular des Fernrohres, δ : Ablenkung


Abb. 2: Strahlengang im Prisma

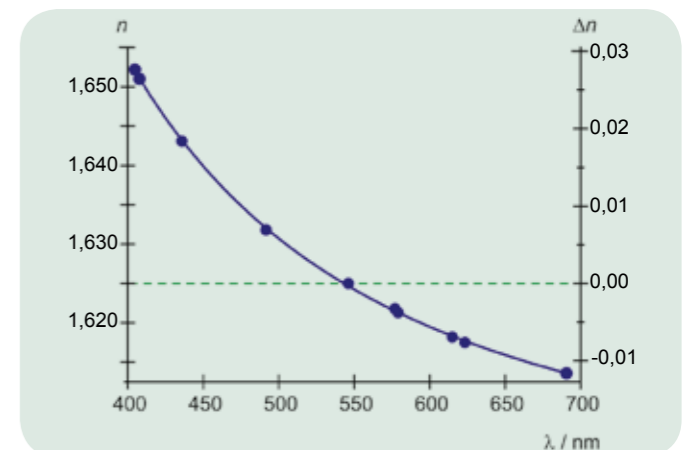


Abb. 3: Wellenlängenabhängige Brechzahl des Flintglasprismas

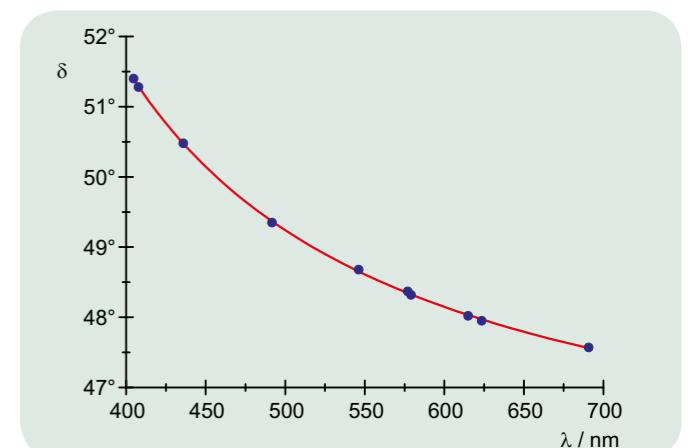
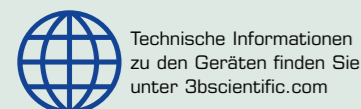


Abb. 4: Kalibrierkurve des Prismenspektrometers


2