

# Versuch 406

## Prismenspektrometer

### 1. Aufgaben

- 1.1 Machen Sie sich mit der Funktionsweise des Präzisions-Goniometer-Spektrometer (PGS) vertraut und justieren Sie das Gerät.
- 1.2 Bestimmen Sie den brechenden Winkel eines Glasprismas.
- 1.3 Messen Sie die Brechzahlen des Glasprismas für die vorgegebenen Wellenlängen der Hg-Dampf-Lampe nach der Methode der Minimalablenkung.
- 1.4 Zeichnen Sie die Dispersionskurve  $n(\lambda)$ . Die Wellenlängen  $\lambda_2$ ,  $\lambda_4$  und  $\lambda_7$  der Hg-Dampf-Lampe sind daraus grafisch zu bestimmen.
- 1.5 Berechnen Sie näherungsweise das Auflösungsvermögen des Spektrometers.

### 2. Grundlagen

#### Stichworte:

Brechung, Dispersion, Spektrometer, spektrale Auflösung, Minimalablenkung

#### 2.1 Brechung und Dispersion

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes ist in verschiedenen Materialien unterschiedlich groß. Diese Erscheinung hängt mit dem atomaren bzw. molekularen Aufbau der Stoffe zusammen, da es die atomaren Bausteine sind, die bei Beleuchtung zur Aussendung von Streulicht angeregt werden (Modell des mitschwingenden Hertzschen Dipols). Sichtbare Folge der unterschiedlichen Geschwindigkeiten ist die Brechung des Lichtes an der Grenzfläche zweier Stoffe. Den Zusammenhang zwischen Einfallswinkel- und Brechungswinkel ( $\alpha_1, \alpha_2$ ) sowie Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $c_1, c_2$ ) und Brechzahl ( $n_1, n_2$ ) in beiden Materialien liefert das Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Da die Moleküle, die durch eine Lichtwelle in erzwungene Schwingungen versetzt werden, über eine oder mehrere Eigenfrequenzen verfügen, ergibt sich zusätzlich eine Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge  $\lambda$ . Diese Erscheinung bezeichnet man als Dispersion. In Gebieten normaler Dispersion (bei üblichen Gläsern im sichtbaren Spektralbereich) nimmt die Brechzahl mit zunehmender Wellenlänge ab, d.h. *kurzwelliges Licht (violett) wird stärker gebrochen als langwelliges (rot)*.

## 2.2 Prismenspektrometer

Beim Durchgang durch ein Prisma wird ein Lichtstrahl zweimal an den Grenzflächen gebrochen. Da die Brechzahl von der Wellenlänge abhängt, wird dabei das eingestrahle Licht in sein Spektrum zerlegt. Verwendet man eine Lichtquelle, die ein Linienspektrum ausendet (z.B. eine Quecksilberdampf Lampe), so kann man durch Messung der Ablenkwinkel die Dispersionskurve  $n(\lambda)$  ermitteln. Ist die Dispersionskurve bekannt, so kann umgekehrt das Prisma zur Wellenlängenmessung benutzt werden, indem man  $n$  für die betreffende Linie mißt und aus der Dispersionskurve  $\lambda$  bestimmt.

## 2.3 Spektrales Auflösungsvermögen

Die Leistungsfähigkeit eines Spektrometers wird durch sein spektrales Auflösungsvermögen  $\left( A = \frac{\lambda}{d\lambda} \right)$  charakterisiert. Es gibt an, in welchem Maße verschiedene Wellenlängen als getrennte Spektrallinien wiedergegeben werden, und ist durch die apparativ bedingte Verbreiterung der Linien begrenzt (Größe des Eintrittsspalt am Spektrometer, Größe des Prismas). Bei einem voll ausgeleuchteten Prisma mit der Basislänge  $b$  erhält man für das Auflösungsvermögen (vgl. / 1 /):

$$A = b \cdot \left| \frac{dn}{d\lambda} \right| \quad (2)$$

Das Auflösungsvermögen läßt sich also aus der Steigung der Dispersionskurve berechnen und ist wie diese von der Wellenlänge abhängig.

# 3. Versuchsdurchführung

- 3.1 Voraussetzung für die erfolgreiche Versuchsdurchführung sind Grundkenntnisse zum Aufbau und der Wirkungsweise des PGS. Diese entnehmen Sie bitte dem Anhang (Abschnitt 4).
- 3.2 Zur Messung des brechenden Winkels  $\epsilon$  des Glasprismas überlegen Sie sich bitte selbst eine geeignete Methode (vgl. dazu auch /1/)!
- 3.3 Zur Bestimmung der Brechzahlen (Aufgabe 1.3) beleuchtet man den Spalt mit einer Hg-Dampf-Lampe. Nach Durchgang des Lichtes durch das Prisma sieht man im Fernrohr voneinander getrennte farbige Bilder des Spaltes, welche bei genügender Vergrößerung der Spaltbreite in Linien übergehen. Man dreht den Objektstisch mit dem Prisma und verfolgt die zu messende Linie im Fernrohr. An einer bestimmten Stelle kehrt sich bei gleichbleibender Drehrichtung des Prismas die Bewegung der Linie um (Minimalablenkung - der Strahl läuft jetzt symmetrisch durch das Prisma). Genau in dieser Stellung wird der zugehörige Winkel bestimmt. Dann dreht man den Tisch mit dem Prisma so, daß das Licht nach der anderen Seite abgelenkt wird und wiederholt das Verfahren. Die Differenz beider Winkelablesungen ist gleich dem doppelten Ablenkwinkel ( $2\delta$ ). Aus dem Ablenkwinkel  $\delta$  und dem Prismenwinkel  $\epsilon$  läßt sich die Brechzahl  $n$  des Prismas für die verwendete Wellenlänge folgendermaßen berechnen (vgl. / 1 /):

$$n = \frac{\sin \frac{\epsilon + \delta}{2}}{\sin \frac{\epsilon}{2}} \quad (3)$$

3.4 Nachdem auf diese Weise die Brechzahlen für alle vorgegebenen Wellenlängen gemessen wurden, trägt man  $n(\lambda)$  über  $\lambda$  auf und erhält so die Dispersionskurve. Die gesuchten Wellenlängen lassen sich daraus grafisch ermitteln.

$\lambda_1$	=	404,658 nm	violett, stark
$\lambda_2$		gesucht	violett, mittel
$\lambda_3$	=	435,834 nm	blau, stark
$\lambda_4$		gesucht	blaugrün, mittel
$\lambda_5$	=	496,0 nm	blaugrün, schwach
$\lambda_6$	=	546,074 nm	grün, sehr stark
$\lambda_7$		gesucht	gelb, sehr stark
$\lambda_8$	=	579,065 nm	gelb, sehr stark
$\lambda_9$	=	623,437 nm	stärkste rot, mittel

3.5 Das Auflösungsvermögen sollte mindestens für je eine Stelle am Anfang bzw. Ende des sichtbaren Spektralbereiches berechnet werden. Wie klein darf jeweils der Abstand zweier Linien sein, damit sie gerade noch getrennt werden können?

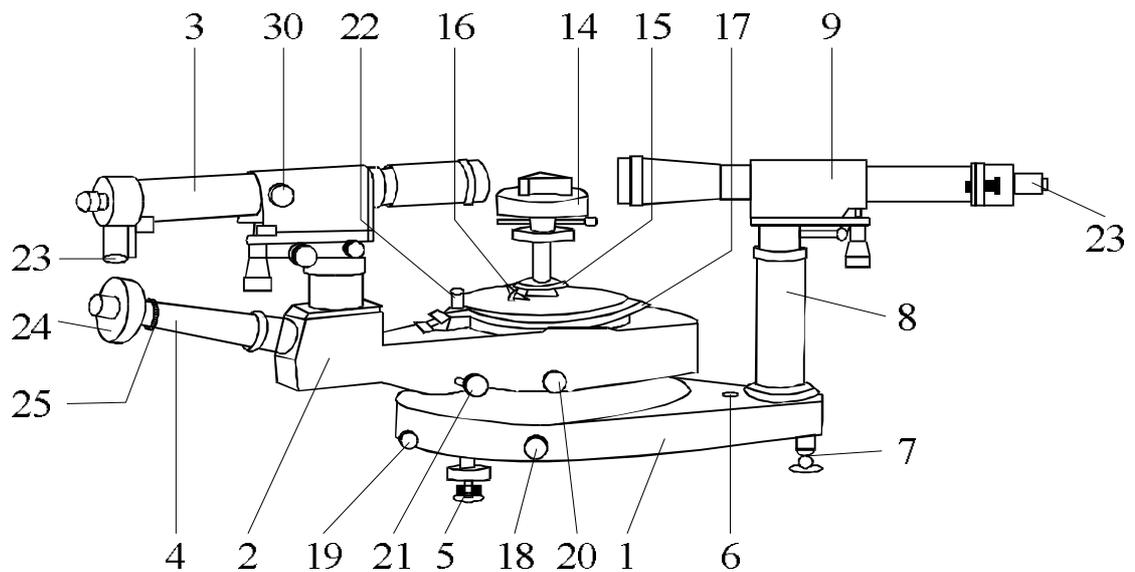
Führen Sie dort, wo es angebracht ist, eine Fehlerabschätzung durch, und vergleichen Sie die Ergebnisse mit den erwarteten Werten!

## 4. Anhang:

### Beschreibung der wesentlichen Bedienelemente des PGS

#### *Meßprinzip*

Das Untersuchungsobjekt (Spalt, Prisma, Glasplatte o.ä.) befindet sich auf dem Objektisch, welcher bezüglich der optischen Achse justiert werden kann. Die Beleuchtung mit parallelem Licht erfolgt durch den Kollimator. Das entstehende Bild (Beugungsstruktur, Spektrum o.ä.) wird durch das Fernrohr betrachtet. Kollimator und Fernrohr müssen zueinander justiert sein (optische Achse). Mit dem Fernrohr starr verbunden ist eine Winkelmeßeinrichtung. Durch Schwenken des Fernrohres gelangt die zu vermessende Beugungsordnung, Spektrallinie usw., die im allgemeinen unter einem bestimmten Winkel zur Einfallrichtung zu finden ist, in das Gesichtsfeld und wird dort in ein Fadenkreuz justiert. Dann wird der zugehörige Winkel abgelesen.



### ***Grundkörper, Kollimator, Objektisch***

Die Justierung des Grundkörpers [1] erfolgt (falls erforderlich) anhand der Dosenlibelle [6] mit Hilfe der Fußschrauben [5]. Am Grundkörper befinden sich außerdem eine Anschlußbuchse für die externe Stromversorgung (6V-Trafo) und der Schalter für die Skalenbeleuchtung.

Das Licht der Spektrallampe wird mit einer Linse auf den Beleuchtungsspalt [23] fokussiert und gelangt in den Kollimator [9]. Am Kollimator befinden sich 1 Klemmschraube zur Grobverstellung sowie 2 Feintriebe zur horizontalen und vertikalen Kippung.

Der Objektisch [14] ist frei drehbar und wird mit 3 Rändelschrauben waagrecht justiert. Die Klemmen [16] und [22] zur Kopplung der Mittelachse (Objektisch) mit Teilkreis bzw. Schwenkarm bleiben gelöst.

### ***Fernrohr***

Für die eigentliche Messung sind auf dem Schwenkarm [2] ein Fernrohr mit Fadenkreuz [3] und ein Mikroskop zur Winkelablesung [4] fest miteinander verbunden. Das Fernrohr kann zur Justage genau wie der Kollimator mit 3 Schrauben grob bzw. fein in horizontaler und vertikaler Richtung verstellt werden. Um den Schwenkarm frei bewegen zu können, muß die Rändelklemme [20] gelöst werden. Jetzt wird das zu untersuchende Objekt ins Gesichtsfeld gebracht. Zur Feineinstellung (Objekt ins Fadenkreuz) dient der Feintrieb [21]. Damit dieser wirksam ist, muß die Rändelklemme vorher wieder (leicht) angezogen werden. Im Fernrohr befindet sich ein beleuchtetes Autokollimationskreuz, mit dessen Hilfe ein reflektierendes Objekt (z. B. Prismenfläche) senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet werden kann. Der Triebknopf [30] dient zur Scharfstellung des Fernrohrbildes.

### ***Winkelmeßeinrichtung***

Die Abbildung des Teilkreises im Mikroskop [24] zeigt im großen Feld Doppelstriche im Abstand von 10 Bogenminuten (jedes volle Grad ist beschriftet). Das Ablesen der Zwischenwerte geschieht im kleinen Feld rechts oben. Dazu wird der Zeiger, welcher im allgemeinen

zwischen zwei Strichpaaren steht, mit dem Rändelring [25] in die Mitte eines angrenzenden Strichpaares bewegt. Danach können oben die einzelnen Bogenminuten und die Bogensekunden abgelesen und dazuaddiert werden.

Beispiel: || 134 || || || || ↑ || || 135 || || ||

Der abzulesender Winkel liegt **zwischen 134° 30' und 134° 40'** .

Nachdem der Zeiger in die Mitte des linken Doppelstriches,

|| 134 || || || || ↑ || || 135 || || ||

kann man im kleinen Feld **2' und 55''** ablesen.

Der gemessene Winkel beträgt demnach:  $134^\circ 30' + 2' 55'' = 134^\circ 32' 55''$

Alle hier nicht beschriebenen Bedienelemente werden nicht zur Versuchsdurchführung benötigt. Eine ausführliche Anleitung zum Gebrauch des Goniometers kann im Praktikum eingesehen werden.

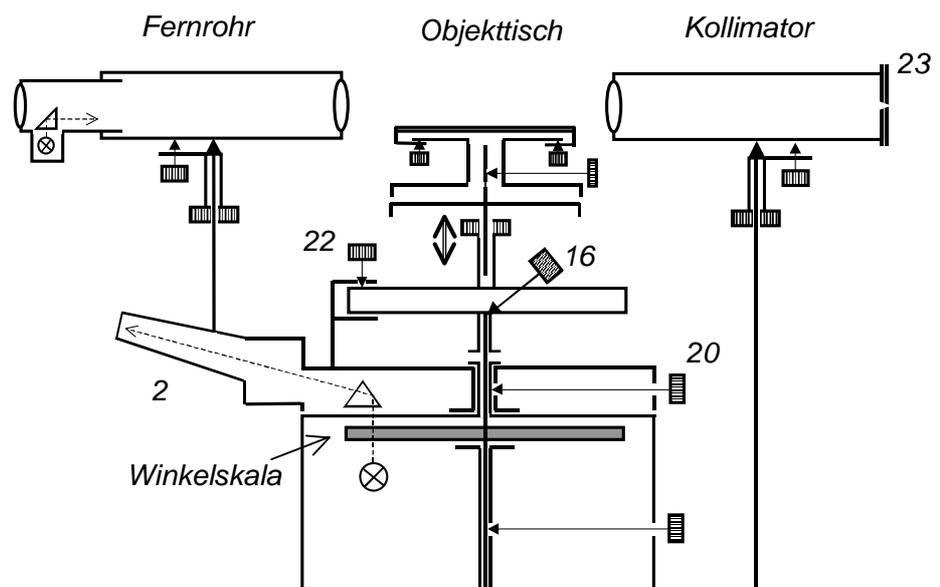


Bild: 2 Schematische Darstellung der Justier- und Verstellelemente am PGS (Nummerierung hier ohne Bezug).