

Ausmessung der Linienspektren von Edelgasen und Metaldämpfen mit einem Prismenspektrometer

Versuchsziele

- Justierung des Prismenspektrometers
- Kalibrierung des Prismenspektrometers mit einer He-Lampe
- Ausmessung eines „unbekannten“ Linienspektrums
- Identifizierung der „unbekannten“ Lichtquelle

Grundlagen

Zum Leuchten angeregte Edelgase und Metaldämpfe emittieren Spektrallinien, also eine bestimmte Auswahl von Wellenlängen, die für das Element charakteristisch sind. Durch genaue Messung der Wellenlängen können Aussagen über diese Lichtquellen gemacht werden.

Mit einem Prisma ist es möglich, die Spektrallinien zu trennen. Dabei wird die Wellenlängenabhängigkeit der Brechzahl n des Prismenmaterials, hier Flintglas, ausgenutzt. Durch das Prisma werden die Lichtstrahlen gebrochen und entsprechend der Wellenlänge unterschiedlich stark abgelenkt. Kurzwelliges Licht wird im Bereich des sichtbaren Spektrums stärker abgelenkt als langwelliges.

Im Prismenspektrometer tritt das Licht divergent durch den in seiner Breite und Höhe veränderbaren, vertikalen Spalt S und fällt auf das Objektiv O_1 , das sich im Abstand der Brennweite vom Spalt befindet (siehe Fig. 1). Spalt und Objektiv bilden zusammen einen Kollimator. Hinter dem Objektiv gelangt das Licht als paralleles Strahlenbündel zum Prisma P , d.h. alle Strahlen treten unter dem gleichen Winkel in das Prisma ein. Das Licht wird durch das Prisma gebrochen, wobei jede Wellenlänge eine andere Ablenkung erfährt. Schließlich werden

durch ein weiteres Objektiv O_2 alle parallelen Strahlen einer Wellenlänge in der Brennebene des Objektivs zu einem Bild des Spaltes S vereinigt. In der Brennebene entsteht so ein reines Spektrum, das mit dem Okular O' betrachtet werden kann. Objektiv O_2 und Okular O' bilden zusammen ein auf unendlich eingestelltes astronomisches Fernrohr.

Das Prisma wird so positioniert, daß für eine mittlere Wellenlänge des Spektrums (etwa 560–600 nm) der Strahlengang symmetrisch, die Ablenkung also minimal wird. Das spektrale Auflösungsvermögen ist dann maximal.

Zur Ausmessung der Ablenkwinkel ist das Fernrohr an einem drehbaren Arm befestigt. Bei Drehung des Fernrohres wird ein in der Brennebene des Okulars befindliches Fadenkreuz auf die einzelnen Spektrallinien eingestellt. Zur Messung der Winkel und somit der relativen Lage der Linien ist die Position des Fernrohres an einer in halben Winkelgraden geteilten Skalenscheibe, dem sog. Teilkreis, zu einem Goniometer vereinigt. Durch einen Nonius kann die Position auf eine Winkelminute genau abgelesen werden.

Die Abhängigkeit der Brechzahl n von der Wellenlänge ist nicht linear. Damit die Wellenlängen einer unbekannt Lichtquelle den Ablenkungen durch das Prisma zugeordnet werden können, muß das Spektrometer vorher kalibriert werden. Dazu wird eine Lampe verwendet, deren Spektrallinien bekannt und über den gesamten sichtbaren Bereich verteilt sind. Anhand der Kalibrierkurve können dann bei unveränderter Geometrie des Aufbaus den Spektrallinien einer unbekannt Lichtquelle die zugehörigen Wellenlängen zugeordnet werden. Aus diesen wird anschließend durch Vergleich mit einem geeigneten Tabellenwerk die Lichtquelle bestimmt.

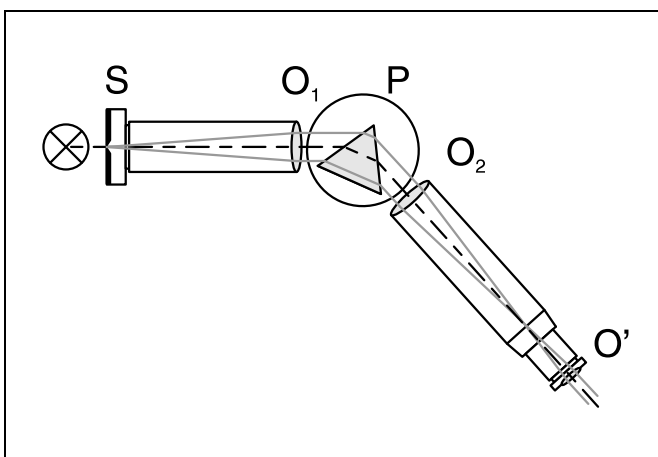


Fig. 1 Strahlengang in einem Prismenspektrometer

Geräte

1 Spektrometer und Goniometer	467 23
1 Spektrallampe He; Stiftsockel	451 031
1 Spektrallampe Cd; Stiftsockel	451 041
1 Gehäuse für Spektrallampen mit Stiftsockel	451 16
1 Universal-Drossel, 230 V, 50 Hz	451 30
1 Transformator, 6 V~, 12 V~	562 73
1 Kleiner Stativfuß, V-förmig	300 02
<i>zusätzlich einsetzbar:</i>	
1 Spektrallampe Ne; Stiftsockel	451 011
1 Spektrallampe Hg/Cd; Stiftsockel	451 071
1 Spektrallampe Ti; Stiftsockel	451 081
1 Spektrallampe Na; Stiftsockel	451 111

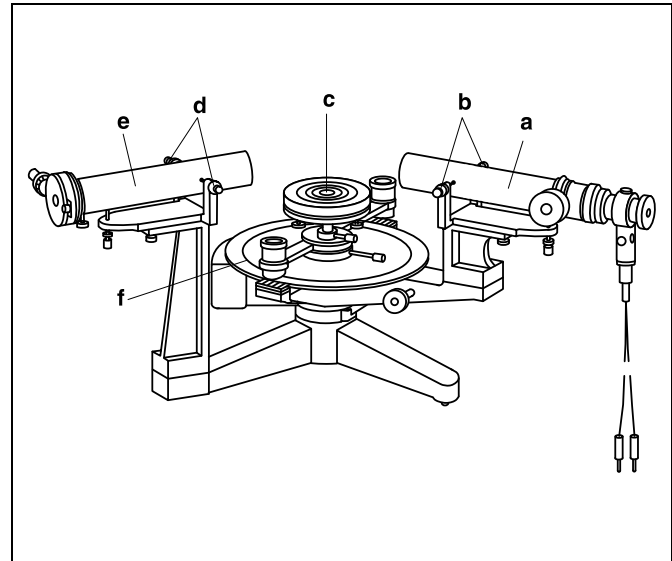


Fig. 2 Spektrometer

- a Fernrohr
- b Justierschrauben zur seitlichen Verschiebung des Spaltrohrs
- c Prismenstück
- d Justierschrauben zur seitlichen Verschiebung des Fernrohrs
- e Spaltrohr
- f Spektrometer-Grundgerät

Justierung des Spektrometers

Um genaue Messungen durchführen zu können, muß das Gerät sorgfältig justiert sein.

Spalt und Fadenkreuz des Fernrohrs müssen sich in den Brennebenen der zugehörigen Objektive befinden (teleskopischer Strahlengang).

Spalt und Prismenflächen müssen parallel zur Drehachse des Fernrohres verlaufen.

Einige Arbeitsschritte bei der Justierung sowie das Ausmessen der Linienspektren sind bei leicht verdunkeltem Raum einfacher.

Vorjustierung:

Der Prismenstück ist nur begrenzt in der Neigung verstellbar. Um genügend Spielraum für die Feinjustierung zu sichern, sollte er bei der Vorjustierung möglichst waagrecht (Augenmaß) eingestellt werden.

- Fernrohr (a), Prismenstück (c) und Spaltrohr (e) nach Augenmaß horizontal ausrichten (siehe Fig. 2).
- Fernrohr und Spaltrohr mit Justierschrauben zur seitlichen Verschiebung (b), (d) mittig ausrichten und anschließend kontern. Justierschrauben nicht einseitig zu weit lösen, da sie zur Befestigung von Fern- und Spaltrohr dienen.

Einstellung des Fernrohrs auf unendlich:

Hinweis: Fehlsichtige Experimentatoren können mit dem Fernrohr zwar weit entfernte Gegenstände scharf beobachten, das Fernrohr ist aber in diesem Fall definitionsgemäß nicht exakt auf unendlich eingestellt. Genaue Messungen sind dennoch durchführbar, wenn die Justierung des Spaltrohres mit dem so

eingestellten Fernrohr vom selben Experimentator durchgeführt wird. Zur Beobachtung der Spektren durch andere Experimentatoren darf die Scharfstellung anschließend nur durch Verschieben des Okulars (a4) erfolgen.

- Okular (a4) abziehen, Beleuchtungseinrichtung (a3) am Fernrohr befestigen und Okular mit der Öffnung für Beleuchtungseinrichtung (a5) nach unten zeigend wieder einsetzen (siehe Fig. 3).
- Durch Verschieben des Okulars (a4) im Okulartubus das Fadenkreuz scharf einstellen und ggf. ausrichten. Dabei beachten, daß die Öffnung für die Beleuchtungseinrichtung (a5) am Okular noch nach unten zeigt.
- Horizontal ausgerichtetes Fernrohr mit der Einstellschraube für Schärfe (a1) auf einen weit entfernten Gegenstand (> 500 m) einstellen.

Weil sich das Bild des beobachteten Gegenstandes und das Fadenkreuz bei richtiger Einstellung in der Brennebene des Objektivs befinden müssen, darf zwischen dem beobachteten Gegenstand und dem Fadenkreuz möglichst keine Parallaxe bestehen.

Sicherheitshinweise

- maximal zulässige Spannung für die Lampe der Beleuchtungseinrichtung ($U_{\max} = 8 \text{ V}$) nicht überschreiten.

Spektrallampen und Gehäuse werden im Betrieb heiß.

- vor Austausch abkühlen lassen.

Justierung der Beleuchtungseinrichtung:

- Fernrohr auf das Spaltrohr richten (Spalt leicht geöffnet).
- Beleuchtungseinrichtung (a3) an Spannung $U = 6 \text{ V}$ anschließen.
- Beleuchtungseinrichtung mit Feststellschraube (a2) so am Fernrohr fixieren, daß die Innenseite des Spaltes gut ausgeleuchtet wird, ohne dabei das Okular zu verstellen.

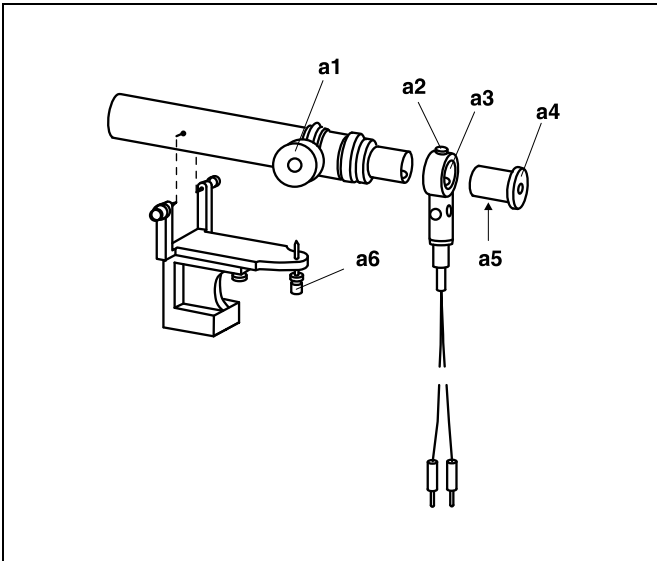


Fig. 3 Fernrohr mit Beleuchtungseinrichtung
 a1 Einstellschraube für Schärfe
 a2 Feststellschraube für Beleuchtungseinrichtung
 a3 Beleuchtungseinrichtung
 a4 Okular
 a5 Öffnung für Beleuchtungseinrichtung (verdeckt)
 a6 Höhenverstellungsschraube für Fernrohr

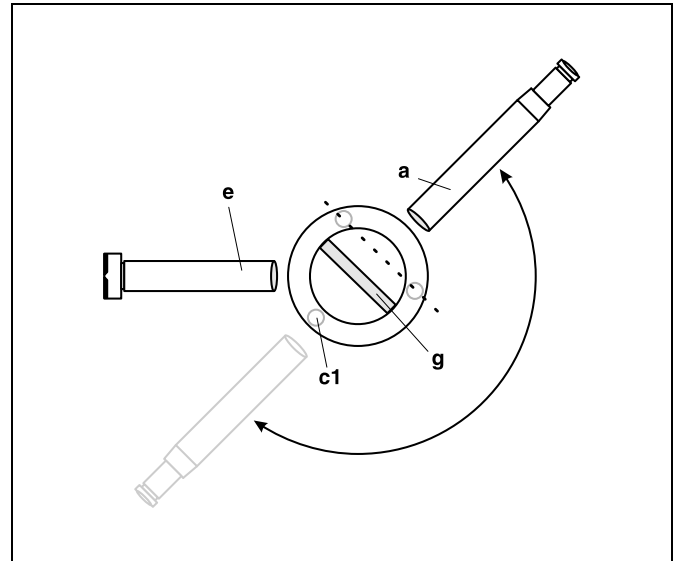


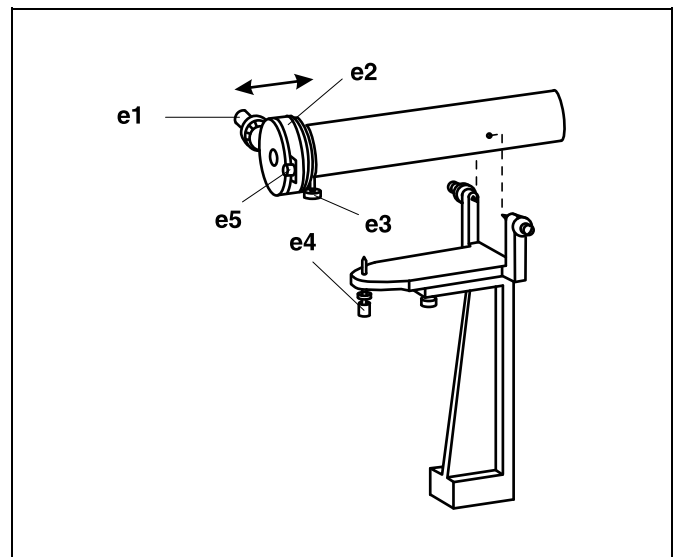
Fig. 4 Spektrometer mit Planglasplatte
 a Fernrohr
 c1 Nivellierschrauben für Prismmentisch
 e Spaltrohr
 g Planglasplatte auf Halter

Einstellung der optischen Achse des Fernrohres senkrecht zur Spektrometerachse:

- Planglasplatte auf Halter (g) unter einem Winkel von 45° zum Spaltrohr (e) auf die Mitte des Prismmentisches stellen, so daß die Verbindungslinie zweier Nivellierschrauben des Prismmentisches parallel zu den Seitenflächen der Planglasplatte verlaufen (siehe Fig. 4).
- Fernrohr (a) senkrecht zu einer Seitenfläche der Planglasplatte ausrichten, so daß sich das Fadenkreuz in der Seitenfläche spiegelt.
- Horizontalen Teil des Fadenkreuzes und sein Spiegelbild zur Deckung bringen. Dazu jeweils die Hälfte der Differenz mit der Höhenverstellungsschraube des Fernrohres (a6) (siehe Fig. 3) und die andere Hälfte mit der Nivellierschraube (c1) des Prismmentisches einstellen.
- Die beiden folgenden Schritte so oft wiederholen, bis auf beiden Seiten der Planglasplatte der waagerechte Faden und sein Spiegelbild in Deckung bleiben:
 1) Fernrohr entsprechend Fig. 4 um 180° schwenken, so daß sich das Fadenkreuz auf der anderen Seitenfläche der Planglasplatte spiegelt.
 2) Kontrollieren, ob sich Faden und Spiegelbild decken. Falls nicht, wie zuvor jeweils die Hälfte der Differenz mit der Höhenverstellungsschraube des Fernrohres (a6) und die andere Hälfte mit der Nivellierschraube (c1) des Prismmentisches einstellen.
- Höhenverstellungsschraube des Fernrohres (a6) mittels Gegenmutter kontern.
- Planglasplatte mit Halter vom Prismmentisch entfernen.
- Beleuchtungseinrichtung von der Spannungsversorgung trennen.

- Fernrohr auf das Spaltrohr richten und den Spalt mit der Mikrometerschraube zur Spaltverbreiterung (e1) etwas öffnen.
- Spalt mit Schieber (e5) auf eine beobachtbare, geeignete Spalthöhe einstellen.
- Mit der Höhenverstellungsschraube des Spaltrohres (e4) den Spalt mittig zum Horizontalfaden des Fadenkreuzes ausrichten und anschließend kontern.

Fig. 5 Spaltrohr
 e1 Mikrometerschraube
 e2 Spalttubus
 e3 Feststellschraube für Spalttubus
 e4 Höhenverstellungsschraube für Spaltrohr
 e5 verstellbare Spaltbegrenzung



Justierung des Spaltrohres:

- Spalt von außen z.B. mit Glühlampenlicht oder einer der Spektrallampen beleuchten.

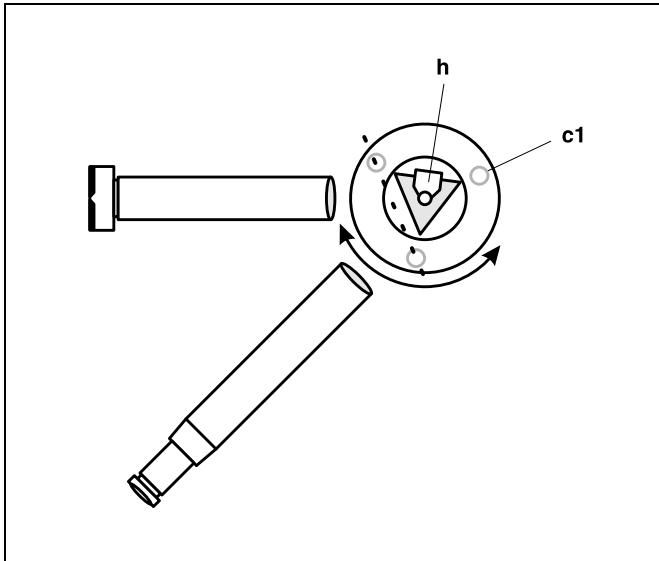


Fig. 6 Ausrichtung der Prismenflächen
c1 Nivellierschrauben für Prisentisch
h (Flintglas) Prisma auf Halter

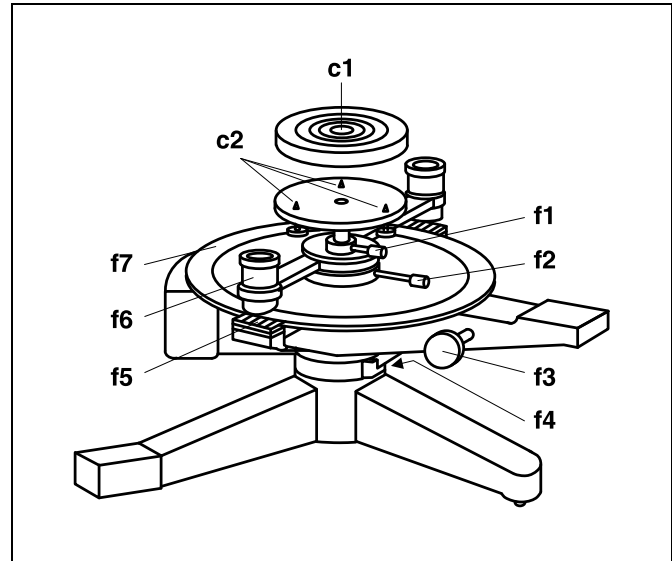


Fig. 7 Spektrometer-Grundgerät und Prisentisch
c1 Prisentisch
c2 Nivellierschrauben für Prisentisch
f1 Feststellschraube für Prisentisch
f2 Feststellschraube für Teilkreisscheibe
f3 Feineinstellung für Fernrohr-Drehung
f4 Feststellschraube für Fernrohr (verdeckt)
f5 Nonien
f6 Ableselupen
f7 Teilkreisscheibe

- Feststellschraube für Spaltauszug (e3) lösen und Spalttubus (e2) in Pfeilrichtung (siehe Fig. 5) so verschieben, daß er scharf abgebildet wird.
- Durch Drehen des Tubus den Spalt vertikal ausrichten, so daß er parallel zum Vertikalfaden des Fadenkreuzes ist, und Feststellschraube für Spaltauszug (e3) wieder anziehen.

Ausrichtung der Prismenflächen parallel zur Drehachse:

- Fernrohr in einem spitzen Winkel zum Spaltrohr drehen und mit Feststellschraube (f4) fixieren (siehe Fig. 6 und Fig. 7).
- Prisma auf Halter (h) entsprechend Fig. 6 auf den Prisentisch stellen, so daß eine Prismenfläche parallel zur Verbindungslinie zweier Nivellierschrauben des Prisentisches verläuft.
- Prisentisch drehen, bis das von einer Prismenfläche reflektierte Spaltbild im Fernrohr sichtbar wird, und mit Feststellschraube für Prisentisch (f1) fixieren.
- Mit hinterer Nivellierschraube (c1) des Prisentisches den reflektierten Spalt in die Mitte des Fadenkreuzes bringen.
- Die beiden folgenden Schritte so oft wiederholen, bis sich die Reflexion des Spaltes beim Drehen des Prisentisches nicht mehr vertikal verschiebt:
 - 1) Feststellschraube des Prisentisches (f1) lösen, Prisentisch drehen, bis das Spaltbild an der anderen Prismenfläche reflektiert wird, und mit Feststellschraube für Prisentisch wieder fixieren.
 - 2) Mit der jetzt aus der Sicht des Fernrohrs hinteren Nivellierschraube des Prisentisches den reflektierten Spalt in die Mitte des Fadenkreuzes bringen.

Aufbau

- He-Spektrallampe im Gehäuse befestigen, entsprechend Fig. 8 im Stativfuß fixieren, an der Universaldrossel anschließen und einschalten.
- Spalt mit He-Spektrallampe ausleuchten. Dabei beachten, daß sich die Lampe in der optischen Achse des Spaltrohres befindet.
- Prisma so auf dem Prismentisch positionieren und Fernrohr so ausrichten, daß das durch den Spalt fallende Licht das Prisma durchstrahlt (von oben betrachten, siehe Fig. 1) und das Spektrum mit dem Fernrohr beobachtet werden kann.

Durchführung

a) Winkel des Minimums der Ablenkung einstellen:

Das Auflösungsvermögen wächst mit abnehmender Spaltbreite, zugleich wird jedoch die Lichtintensität des Spektrums geringer:

- Spaltbreite mit der Mikrometerschraube zur Spaltverbreiterung (**e1**) auf eine geeignete Breite einstellen.
- Prismentisch langsam drehen und die Verschiebung der Spektrallinien mit dem Fernrohr verfolgen, bis eine „mittlere“ Linie des Spektrums (z. B. gelb, $\lambda = 587,6 \text{ nm}$) gerade einen Umkehrpunkt durchläuft (Minimumstellung).
- Prismentisch und Fernrohr in der Minimumstellung mit den zugehörigen Feststellschrauben (**f1**) und (**f4**) fixieren.

b) Kalibrierung des Spektrometers mit der He-Spektrallampe:

Hinweis: Das Spektrometer ist mit zwei gegenüberliegenden Nonien ausgestattet. Um Ablesefehler zu verringern und evtl. vorhandene Exzentrizität der Kreisteilung gegen die Drehachse auszugleichen, den Mittelwert beider Ablesungen bilden.

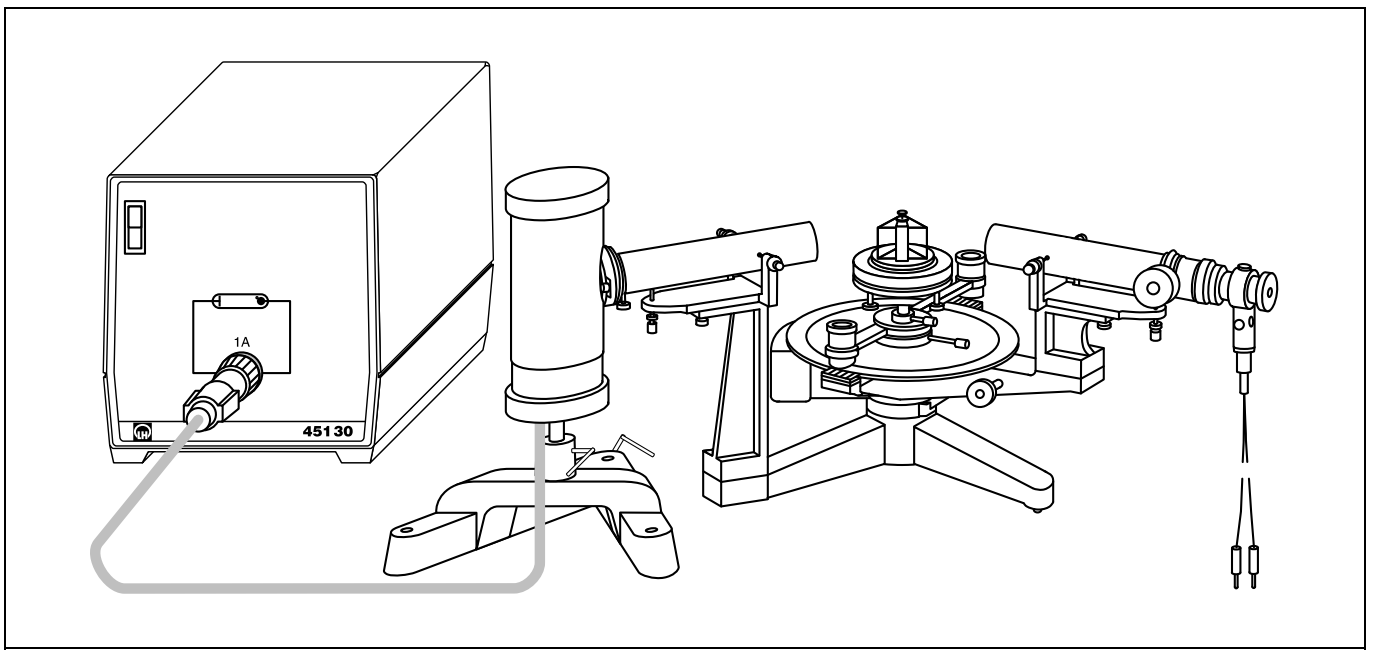
- Fernrohr so ausrichten, daß der Vertikalfaden des Fadenkreuzes mit einer äußeren Spektrallinie (im Meßbeispiel die rote) zur Deckung kommt.
- Teilkreisscheibe (**f7**) auf die 0° -Linie bzw. die 180° -Linie der Nonien (**f5**) einstellen und mit Feststellschraube für Teilkreisscheibe (**f2**) fixieren.

- Vertikalfaden des Fadenkreuzes mit der Feineinstellung für Fernrohr-Drehung (**f3**) nacheinander auf die einzelnen Spektrallinien einstellen. Die zugehörige Fernrohrposition auf der Teilkreisscheibe mit Hilfe der Ableselupe (**f6**) und die beiden Nonien (**f5**) ablesen und notieren.

c) Ausmessung der Linienspektren anderer Lichtquellen, z.B. Spektrallampe Cd:

- Spektrallampen nach Abkühlen des Gehäuses austauschen und Spalt beleuchten.
- Vertikalfaden des Fadenkreuzes wie zuvor mit der Feineinstellung für Fernrohr-Drehung (**f3**) nacheinander auf die einzelnen Spektrallinien einstellen und die Positionen ablesen und notieren.

Fig. 8 Kompletter Versuchsaufbau nach Justierung



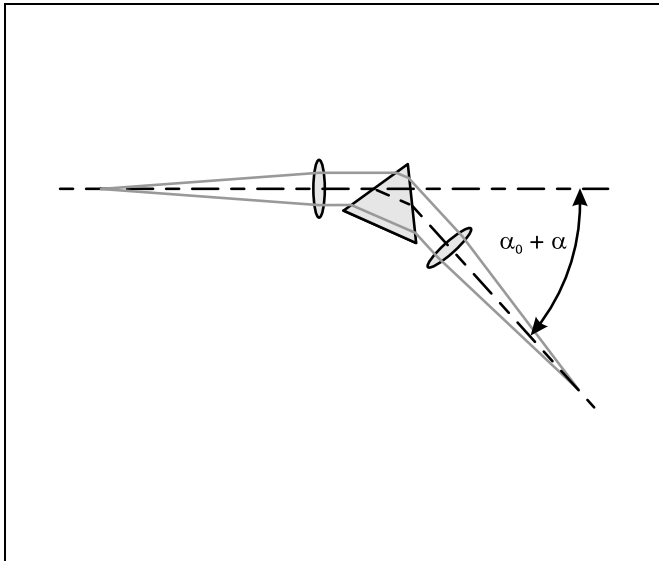


Fig. 9 Schema zur Definition des Winkels α
 α_0 wurde im Meßbeispiel so gewählt, daß bei der Wellenlänge $\lambda = 706,5 \text{ nm}$ der Winkel $\alpha = 0,00^\circ$ ist

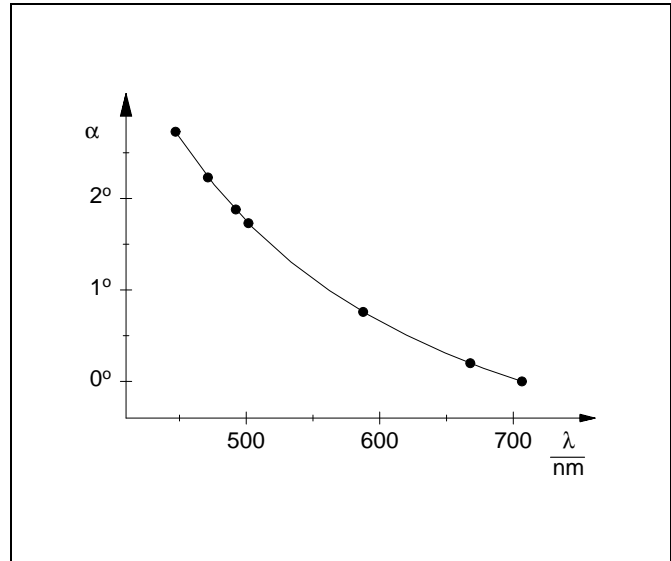


Fig. 10 Kalibrierkurve des Prismenspektrometers
 Punkte: Meßwerte aus Tab. 1
 Linie: Interpolationskurve

Meßbeispiel und Auswertung

Hinweis: Mit dem Prismenspektrometer können auch Linien geringer Intensität beobachtet werden, die nicht zum Spektrum des jeweiligen Metalldampfes oder Edelgases gehören. Durch den Herstellungsprozeß bedingt, können Fremdgase in den Lampenkolben eingebracht worden sein. Bei Metalldampflampen wird zusätzlich Argon (Ar) als Grundgas verwendet.

Tab. 1: Meßwerte zur Kalibrierung des Spektrometers mit He-Spektrallampe, zur Definition von α siehe Fig. 9

$\frac{\lambda_{\text{Literatur}}}{\text{nm}}$	α
706,5	0,00°
667,8	0,20°
587,6	0,76°
501,6	1,73°
492,2	1,88°
471,3	2,23°
447,1	2,73°

Zusatzinformation:

Das Spektrometer und Goniometer ist auch als Gitterspektrometer (siehe Versuchsbeschreibung P 5.7.1.2) einsetzbar. Zur Bestimmung der Wellenlängen der Spektrallinien wird dann keine Kalibrierkurve benötigt.

Die Spektren besitzen jedoch eine geringere Intensität, so daß schwache Linien oft nicht mehr zu erkennen sind. Zusätzlich treten mehrere Beugungsordnungen auf, die sich je nach verwendetem Beugungsgitter überlagern können und dadurch die Zuordnung erschweren.

Bei Verwendung eines Beugungsgitters mit großer Strichzahl ist das Auflösungsvermögen des Gitterspektrometers meist besser als beim Prismenspektrometer. So können z.B. die beiden Na-D-Linien, die das Prismenspektrometer bei minimaler Spaltbreite gerade noch trennt, mit einem Gitterspektrometer bei Verwendung eines Rowlandgitters problemlos aufgelöst und getrennt vermessen werden.

Zur Identifizierung unbekannter Lichtquellen werden die Wellenlängen der Spektrallinien anhand der gemessenen Winkel aus der Kalibrierkurve (siehe Fig. 10) abgelesen. Die angegebenen Literaturwerte beziehen sich auf die Wellenlängen im Vakuum. Die Umrechnung in Wellenlängen in Luft ist nicht erforderlich.

Tab. 2: Meßwerte zur Beispiellampe Cd, zur Definition von α siehe Fig. 9

α	$\frac{\lambda_{\text{Auswertung}}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{\text{Literatur}}}{\text{nm}}$
2,30°	468,7	467,8
2,08°	480,4	480,0
1,63°	507,7	508,6
0,43°	631,8	632,5
0,35°	644,1	643,8