

Ausmessung der Linienspektren von Edelgasen und Metalldämpfen mit einem Gitterspektrometer

Versuchsziele

- Justierung des Gitterspektrometers
- Ausmessung eines Linienspektrums
- Identifizierung der ausgemessenen Lichtquelle
- Bestimmung des Abstandes der beiden gelben Natrium-D-Linien

Grundlagen

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

Mit einem Beugungsgitter ist es möglich, die Spektrallinien zu trennen. Am Gitter wird das Licht gebeugt, Lichtstrahlen einer Wellenlänge überlagern sich und geben scharfe Intensitätsmaxima. Langwelliges Licht wird stärker abgelenkt als kurzwelliges.

Im Gitterspektrometer 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 Gitter G, d.h. alle Strahlen fallen unter dem gleichen Winkel auf das Gitter. Das Licht wird durch das Gitter gebeugt, 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.

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 einzelnen 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 Beugung von der Wellenlänge ist linear ($\sin \alpha \sim \lambda$, Normalspektrum). Damit die Wellenlängen einer unbekanntes Lichtquelle den Ablenkungen durch das Gitter zugeordnet werden können, muß das Gerät im Gegensatz zum Prismenspektrometer (Dispersionsspektrum) nicht kalibriert werden. Anhand der Ablenkungen der einzelnen Spektrallinien einer unbekanntes Lichtquelle können die zugehörigen Wellenlängen berechnet werden. Aus diesen wird anschließend durch Vergleich mit einem geeigneten Tabellenwerk die Lichtquelle bestimmt.

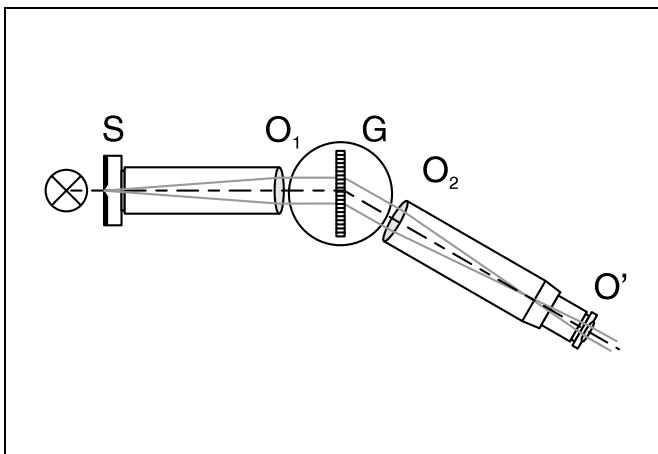


Fig. 1 Strahlengang in einem Gitterspektrometer

Geräte

1 Spektrometer und Goniometer	467 23
1 Kopie eines Rowlandgitters, ca. 5700 Striche/cm	471 23
1 Spektrallampe He; Stiftsockel	451 031
1 Spektrallampe Na; Stiftsockel	451 111
1 Gehäuse für Spektrallampen mit Stiftsockel	451 16
1 Universal-Drossel, in Gehäuse 230 V, 50 Hz	451 30
1 Transformator 6 V~, 12 V~/30VA	562 73
1 Kleiner Stativfuß, V-förmig	300 02

zusätzlich einsetzbar:

1 Spektrallampe Ne; Stiftsockel	451 011
1 Spektrallampe Cd; Stiftsockel	451 041
1 Spektrallampe Hg/Cd; Stiftsockel	451 071
1 Spektrallampe Ti; Stiftsockel	451 081

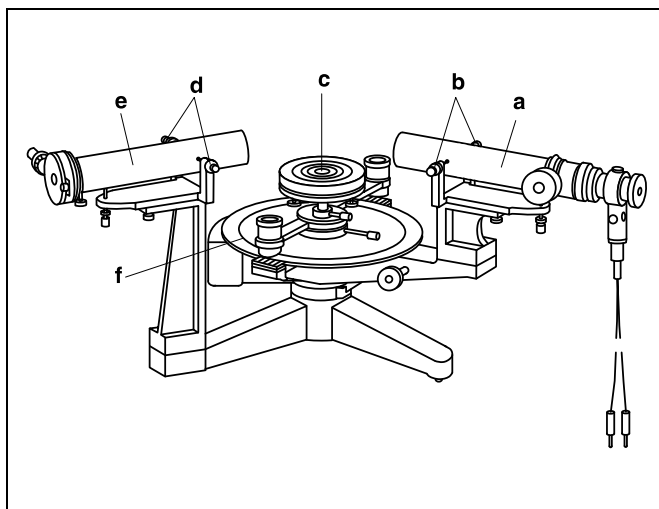


Fig. 2 Spektrometer

- a Fernrohr
- b Justierschrauben zur seitlichen Verschiebung des Spaltrohrs
- c Prismentisch
- 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 Gitter 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 Prismentisch 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), Prismentisch (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.

Sicherheitshinweise

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

Spektrallampen und Gehäuse werden im Betrieb heiß.

- vor Austauschen abkühlen lassen.

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.

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.

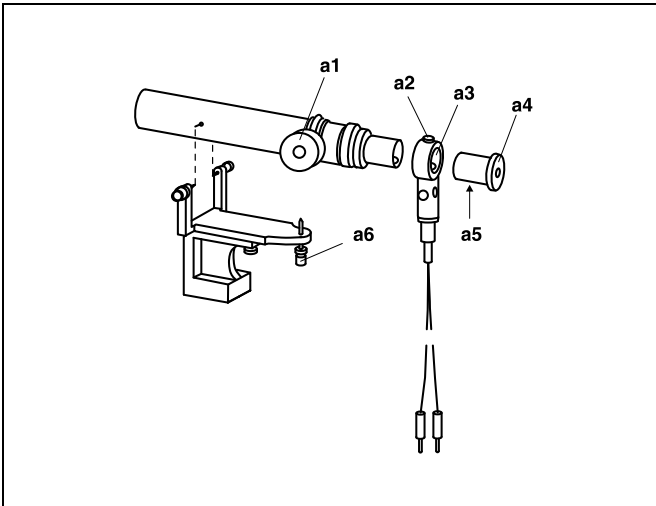
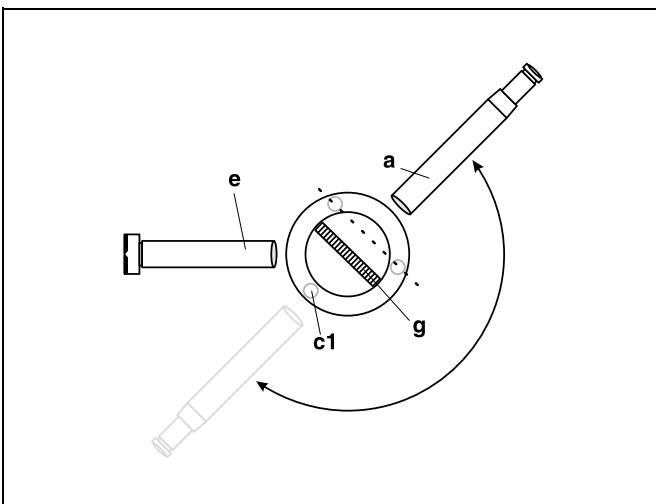


Fig. 3 Fernrohr mit Beleuchtungseinrichtung
 a1 Einstellschraube für Schärfe
 a2 Feststellschraube für Beleuchtungseinrichtung
 a3 Beleuchtungseinrichtung
 a4 Okular
 a5 Öffnung für Beleuchtungseinrichtung (verdeckt)
 a6 Höhenverstellungsschraube für Fernrohr

Einstellung der optischen Achse des Fernrohres senkrecht und des Gitters parallel zur Spektrometerachse:

- Gitter auf Halter für Planglasplatte (g) festklemmen und unter einem Winkel von 45° zum Spaltrohr (e) auf die Mitte des Prismatischen stellen, so daß die Verbindungslinie zweier Nivellierschrauben des Prismatischen parallel zu den Seitenflächen des Gitters verlaufen (siehe Fig. 4).
- Fernrohr (a) senkrecht zu einer Seitenfläche des Gitters 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 des Prismatischen (c1) einstellen.

Fig. 4 Spektrometer mit Gitter
 a Fernrohr
 c1 Nivellierschrauben für Prismatisch
 e Spaltrohr
 g Gitter auf Halter

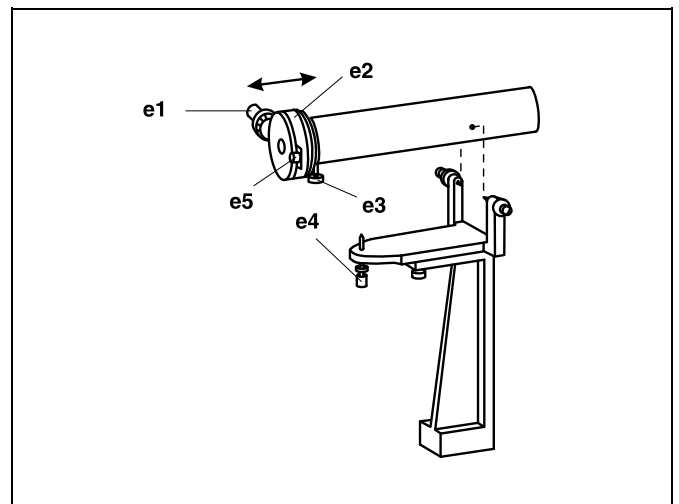


- Die beiden folgenden Schritte so oft wiederholen, bis auf beiden Seiten des Gitters der waagerechte Faden und sein Spiegelbild in Deckung bleiben:
 1) Fernrohr entsprechend Fig. 4 um 180° schwenken, so daß sich das Fadenkreuz auf der anderen Seitenfläche des Gitters spiegelt.
 2) Kontrollieren, ob 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 des Prismatischen (c1) einstellen.
- Höhenverstellungsschraube des Fernrohres (a6) mittels Gegenmutter kontern.
- Gitter mit Halter vom Prismatisch entfernen. Ausrichtung des Gitters zu den Nivellierschrauben des Prismatischen merken, weil es nur in dieser Position parallel zur Drehachse des Fernrohres verläuft und zur Versuchsdurchführung wieder auf den Prismatisch gestellt werden muß.
- Beleuchtungseinrichtung von der Spannungsversorgung trennen.

Justierung des Spaltrohres:

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

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



Aufbau

- He-Spektrallampe im Gehäuse befestigen, entsprechend Fig. 7 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.
- Gitter so auf dem Prismentisch positionieren und Fernrohr so ausrichten, daß das durch den Spalt fallende Licht das Gitter durchstrahlt (von oben betrachten, siehe Fig. 1) und das Spektrum mit dem Fernrohr beobachtet werden kann.
- Um später genaue Messungen durchzuführen, das Gitter auf die Drehachse des Fernrohres und senkrecht zur opt. Achse des Spaltrohres auf den Prismentisch stellen (Mitte des Prismentisches).

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.

Durchführung

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.

a) Ausmessung des He-Linienspektrums:

- Feststellschraube für Fernrohr (**f4**) anziehen und Vertikalfaden des Fadenkreuzes mit der Feineinstellung für Fernrohr-Drehung (**f3**) nacheinander auf die einzelnen Spektrallinien der gleichen Beugungsordnung beider Seiten des Hauptmaximums einstellen. Die zugehörigen Fernrohrpositionen auf der Teilkreisscheibe mit Hilfe der Ableselupen (**f6**) und der beiden Nonien (**f5**) ablesen und notieren.

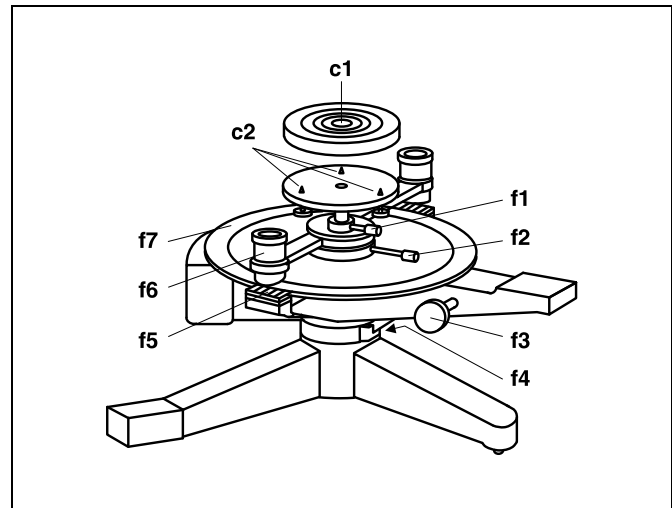


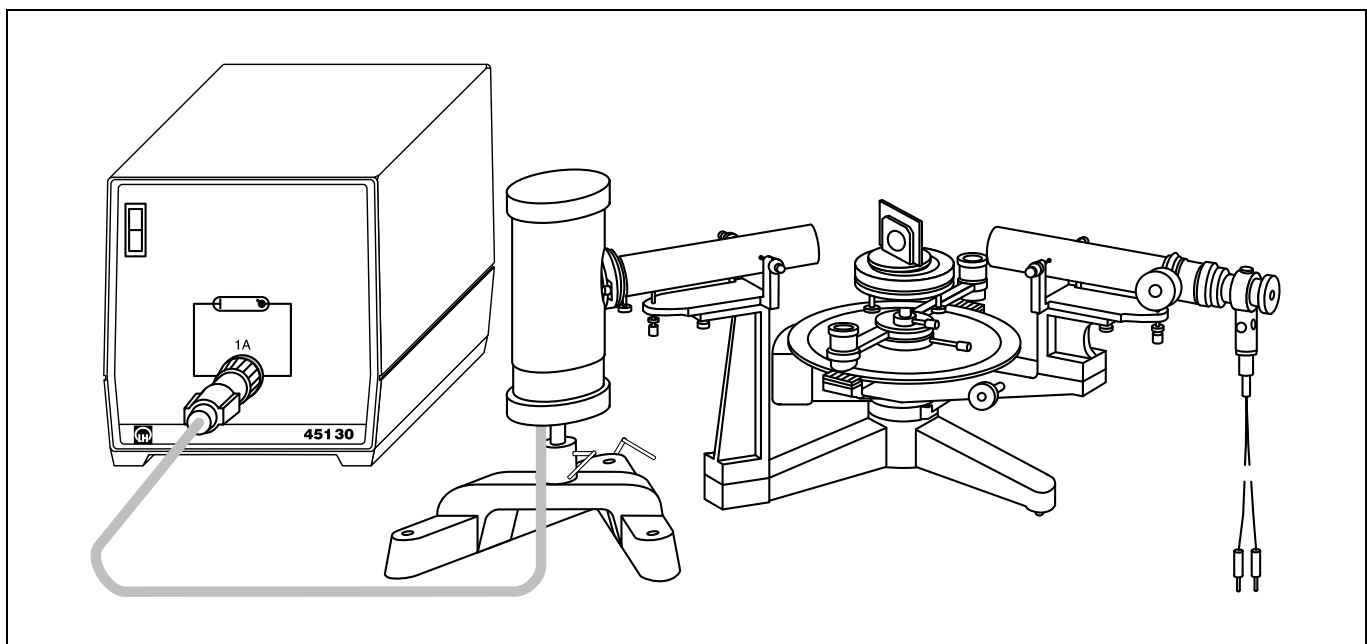
Fig. 6 Spektrometer-Grundgerät und Prismentisch

- c1 Prismentisch
- c2 Nivellierschrauben für Prismentisch
- f1 Feststellschraube für Prismentisch
- f2 Feststellschraube für Teilkreisscheibe
- f3 Feineinstellung für Fernrohr-Drehung
- f4 Feststellschraube für Fernrohr (verdeckt)
- f5 Nonien
- f6 Ableselupen
- f7 Teilkreisscheibe

b) Bestimmung des Abstandes der beiden Na-D-Linien:

- He-Spektrallampe gegen Na-Spektrallampe austauschen; beim Ausleuchten des Spaltes wieder darauf achten, daß sich die Lampe in der optischen Achse des Spaltrohres befindet.
- Erste Beugungsordnung der beiden gelben Na-D-Linien zu beiden Seiten des Hauptmaximums suchen.
- Vertikalfaden des Fadenkreuzes jeweils auf die Spektrallinien einstellen und die Positionen ablesen und notieren.
- Messung für die zweite Beugungsordnung wiederholen.

Fig. 7 Kompletter Versuchsaufbau nach Justierung



Meßbeispiel und Auswertung

a) Ausmessung des He-Linienspektrums:

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

Es gilt:

$$\lambda = \frac{\sin \frac{\Delta\alpha}{2}}{n \cdot N} \quad (I)$$

n : Beugungsordnung,

$\Delta\alpha$: Winkeldifferenz zwischen rechter und linker Spektrallinie in n -ter Ordnung (siehe Fig. 8),

N : Strichzahl, λ : Wellenlänge

Mit der angegebenen Strichzahl $N = 5700 \text{ cm}^{-1}$ ergeben sich aus den gemessenen Winkeln $\Delta\alpha$ die in Tab. 1 angegebenen Wellenlängen für die beobachteten Spektrallinien. Sie stimmen mit den Literaturwerten für Helium überein, liegen aber im Mittel um 1,0 % über diesen Werten. Berechnet man die Wellenlängen mit einer entsprechend größeren Strichzahl ($N = 5706 \text{ cm}^{-1}$), so erhält man eine hervorragende Übereinstimmung mit den Literaturwerten (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Spektrallinien der Beispiellampe He, gemessen bei der Beugungsordnung $n = 1$

(die Literaturangaben beziehen sich auf die Wellenlängen in Luft bei Normalbedingungen und im Vakuum, zur Definition von $\Delta\alpha$ siehe Fig. 8)

$\Delta\alpha$	$\frac{\lambda_{5700}}{\text{cm}}$ nm	$\frac{\lambda_{5706}}{\text{cm}}$ nm	$\frac{\lambda_{\text{Luft}}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{\text{Vakuum}}}{\text{nm}}$
29,56°	447,6	447,1	447,0	447,1
31,18°	471,5	471,0	471,2	471,3
32,62°	492,7	492,2	492,1	492,2
33,24°	501,8	501,3	501,5	501,6
39,17°	588,1	587,5	587,4	587,6
44,79°	668,4	667,7	667,6	667,8
47,55°	707,3	706,5	706,3	706,5

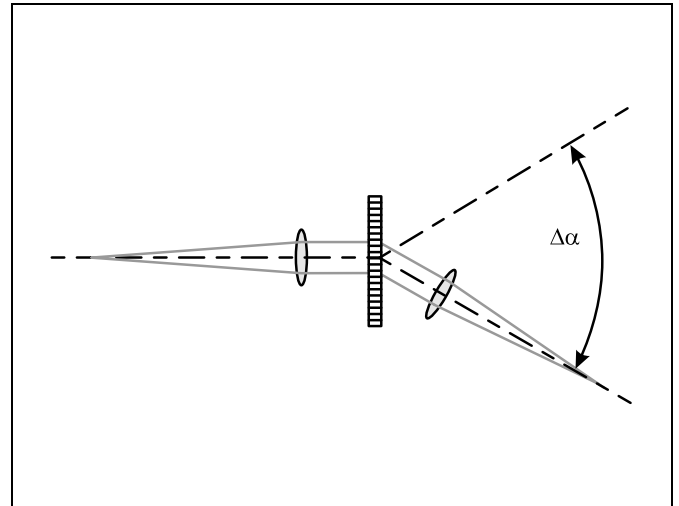


Fig. 8 Schema zur Definition des Winkels $\Delta\alpha$

Zusatzinformation:

Das Spektrometer und Goniometer ist auch als Prismenspektrometer (siehe Versuchsbeschreibung P 5.7.1.2) einsetzbar. Weil die Ablenkung nicht linear von der Wellenlänge abhängt, wird zur Bestimmung der Wellenlängen der Spektrallinien dann eine Eichkurve benötigt, die mit einer Spektrallampe bekannten Spektrums erstellt wird. Außerdem ist das Auflösungsvermögen nicht so hoch wie das eines guten Gitterspektrometers.

Allerdings haben die Prismenspektren mehr Intensität, denn beim Gitterspektrometer geht ein erheblicher Teil der Strahlung in der ungebeugten nullten Ordnung verloren, und der Rest verteilt sich auf mehrere Beugungsordnungen beiderseits der nullten Ordnung. Das hat zur Folge, daß weniger intensive Spektrallinien mit dem Gitterspektrometer kaum noch oder gar nicht mehr beobachtet werden können.

b) Bestimmung des Abstandes der beiden Na-D-Linien:

Tab. 2: Natrium-D-Linien, gemessen bei den Beugungsordnungen $n = 1$ und $n = 2$

Linie	n	$\Delta\alpha$	$\frac{\lambda_{5706}}{\text{cm}}$ nm
D ₁	1	39,300°	589,33
	2	84,542°	589,41
D ₂	1	39,250°	588,61
	2	84,425°	588,74

Aus Tab. 2 entnimmt man für den Abstand der beiden gelben Natrium-D-Linien die Werte $\Delta\lambda = 0,72 \text{ nm}$ (gemessen bei $n = 1$) und $\Delta\lambda = 0,67 \text{ nm}$ (gemessen bei $n = 2$).

Der Mittelwert beträgt $\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 0,70 \text{ nm}$.

Literaturwert für Wellenlängen in Luft bei Normalbedingungen:
 $\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 589,418 \text{ nm} - 588,821 \text{ nm} = 0,597 \text{ nm}$

