

## Untersuchung des Spektrums der Quecksilber-Hochdrucklampe

### Versuchsziele

- Beobachtung der Spektrallinien auf einem Schirm
- Bestimmung der Wellenlängen mit Littrow-Anordnung
- Untersuchung und Messung der Wellenlängen-Differenzen nah beieinander liegender Linien
- Beobachtung der Druckverbreiterung

### Grundlagen

Spektrallinien entstehen beim Übergang von Elektronen von höheren zu niedrigeren Energieniveaus in der Hülle angeregter Atome. Die Wellenlänge des dabei emittierten Lichtes ergibt sich aus dieser Energiedifferenz:

$$\Delta E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Aus dem Energieniveau- oder Termschema von Quecksilber ergibt sich eine große Anzahl von Linien mit unterschiedlichen Intensitäten (Übergangswahrscheinlichkeiten). Es lassen sich im nahen UV- und im sichtbaren Bereich insbesondere folgende Linien beobachten:

Wellenlänge $\frac{\lambda}{\text{nm}}$	Relative Intensität	Übergänge
365,02	2800	$6^3D_3 - 6^3P_2$
404,66	1800	$7^3S_1 - 6^3P_0$
433,92	250	$7^3D_2 - 6^1P_1$
434,75	400	$7^1D_2 - 6^1P_1$
435,83	4000	$7^3S_1 - 6^3P_1$
546,08	1100	$7^3S_1 - 6^3P_2$
576,96	240	$6^3D_2 - 6^1P_1$
579,07	280	$6^1D_2 - 6^1P_1$

Tab.1: Auswahl einiger sichtbarer Linien des Quecksilbers

Im ersten und zweiten Teil des Versuches werden die verschiedenen Linien beobachtet und ihre Wellenlängen der bestimmt.

Im dritten Teil werden die zwei gelben und die drei blauen Linien genauer untersucht und die Differenzen der Wellenlängen bestimmt.

Im vierten Teil wird die gelbe Doppellinie nach unterschiedlicher Einschaltdauer der Quecksilber-Hochdruckdampfampe beobachtet. Mit zunehmender Temperatur und damit höherem Druck werden die beiden Linien unschärfer. Der entscheidende Effekt ist dabei die Druckverbreiterung; ein kleineren Anteil hat die Dopplerverbreiterung.

Im Experiment werden die Spektrallinien mit einem hochauflösendem Spektrometeraufbau untersucht. Dabei wird ein Holographisches Gitter verwendet. Die Interferenz ergibt sich in Reflexion.

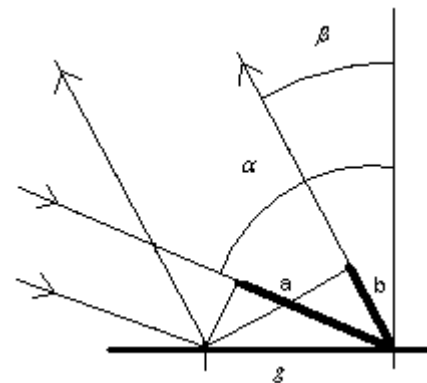


Abb. 1: Zur Berechnung der Wellenlänge

Die Wegdifferenz zweier Strahlen im Maximum 1. Ordnung ist:  $\Delta s = a + b = \lambda$

Mit dem Einfallswinkel  $\alpha$  und dem Beugungswinkel  $\beta$

( $\frac{a}{g} = \sin \alpha$  und  $\frac{b}{g} = \sin \beta$ ) ergibt sich die Wellenlänge zu:

$$\lambda = g \cdot (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (1)$$

mit der Gitterkonstanten  $g$ .

Die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  können im Aufbau aus dem Winkel des Holographischen Gitters zur optischen Achse  $\omega_{\text{Zeiger}}$  (Drehwinkel) und dem Winkel zwischen den optischen Bänken  $\omega_{\text{Bänke}}$  (Richtung des gebeugten Lichtbündels) bestimmt werden.

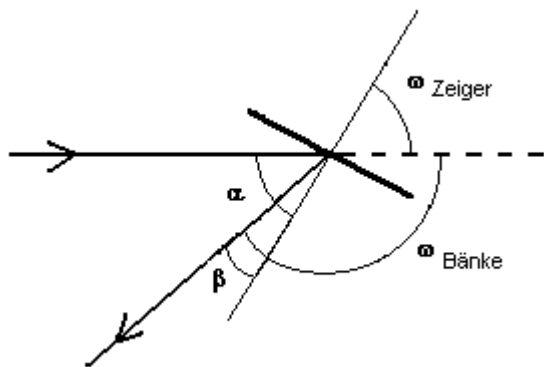


Abb. 2: Zur Berechnung der Winkel

Der Einfallswinkel  $\alpha$  entspricht dem Drehwinkel der Säule mit Holographischem Gitter:

$$\alpha = \omega_{\text{Zeiger}} \quad (2)$$

Der Reflexionswinkel  $\beta$  ergibt sich zu (s. Abb. 2):

$$\beta = \omega_{\text{Zeiger}} + \omega_{\text{Bänke}} - 180^\circ \quad (3)$$

In der sogenannten Littrow-Anordnung wird das Maximum 1. Ordnung in Richtung des einfallenden Lichtbündels reflektiert, d.h. es gilt  $\alpha = \beta$

Mit (1) ergibt sich

$$\lambda = 2 \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

d.h. mit  $\alpha = \omega_{\text{Zeiger}}$ (3):

$$\lambda = 2 \cdot g \cdot \sin \omega_{\text{Zeiger}} \quad (5)$$

Die Winkel-Aufspaltung  $\Delta \beta$  der Linien ergibt sich aus (1)

$$\frac{d\lambda}{d\beta} = g \cdot \cos \beta \quad \text{oder} \quad \Delta \lambda = g \cdot \cos \beta \cdot \Delta \beta \quad (6)$$

Die Aufspaltung der Linien wird mit einem Fernrohr Aufbau beobachtet. Aus dem Abstand  $d$  der Linien kann mit der Brennweite  $f$  der Objektivlinse die Winkelaufspaltung bestimmt werden:

$$\Delta \beta = \frac{d}{f} \quad (7)$$

Daraus ergibt sich die Wellenlängendifferenz zweier Linien zu:

$$\Delta \lambda = \frac{d \cdot g \cdot \cos \beta}{f} \quad (8)$$

**Geräte**

1 Optische Bank mit Normalprofil, 1 m .....	460 32
1 Optische Bank mit Normalprofil, 0,5 m .....	460 335
1 Drehgelenk mit Skala .....	460 341
4 Optikreiter 90/50 .....	460 374
1 Optikreiter 60/60 .....	460 373
1 Kippreiter .....	460 382
1 Quecksilber-Hochdrucklampe .....	451 15
1 Betriebsgerät zur Hg-Hochdrucklampe .....	451 195
1 Linse in Fassung, $f = 50$ mm .....	460 02
1 Verstellbarer Spalt .....	460 14
1 Linse in Fassung, $f = 150$ mm .....	460 08
1 Holographisches Gitter 2400 Linien/mm .....	471 27
1 Linse in Fassung, $f = 300$ mm .....	460 09
1 Schirm .....	441 531
1 Okular mit Strichskala .....	460 135

## Aufbau



Abb. 3: Versuchsaufbau

- Zunächst die beiden optischen Bänke mit Hilfe der Stellfüße parallel auf eine Höhe ausrichten und mit den Stellschrauben fixieren.
- Die beiden Schienen mit dem Drehgelenk verbinden.
- Die Quecksilber-Dampflampe etwa in der Mitte der Optischen Bank 1 m montieren. Linse ( $f = 50$  mm) im Kippreiter und Verstellbaren Spalt jeweils im Abstand von ca. 10 cm so davor stellen, dass der Spalt gut ausgeleuchtet wird. Ggf. Kippreiter etwas neigen.
- Linse ( $f = 150$  mm) ca. 15 cm vor dem Verstellbaren Spalt positionieren, um ein paralleles Lichtbündel zu erhalten.
- Den Zeiger der Säule des Drehgelenkes auf exakt  $0^\circ$  stellen und das Holographische Gitter in der Säule so drehen, dass das Lichtbündel in sich reflektiert wird und mit der Rändelschraube festsetzen. Ggf. Linse ( $f = 150$  mm) etwas verschieben, so dass das Spaltbild neben dem Spalt scharf abgebildet wird (Autokollimation). Zur Feinjustage Rändelschrauben des Holographischen Gitter verwenden. (Zur Hilfe kann die Säule mit der unteren Rändelschraube dazu festgesetzt werden. Anschließend wieder lösen.)
- Schirm an das Ende der Optischen Bank 0,5 m und Linse ( $f = 300$  mm) ca. 30 cm vor den Schirm stellen.

## Durchführung

### a) Beobachtung der Spektrallinien

- Optische Bank 0,5 m (im Uhrzeigersinn) drehen bis  $\omega_{\text{Bänke}} = 130^\circ$ .
- Holographisches Gitter gegen den Uhrzeigersinn drehen, bis eine sichtbare Linie auf dem Schirm zu beobachten ist. Ggf. Linse ( $f = 300$  mm) etwas verschieben, um ein scharfes Bild des Spaltes zu erhalten.
- Holographisches Gitter weiter drehen und die verschiedenen Spektrallinien beobachten.
- Der Ultraviolette Bereich kann mit Hilfe eines weißen (fluoreszierenden) Papiere sichtbar gemacht werden. Dieses dazu direkt vor den Schirm halten.

*Hinweis: Alternativ kann auch der Drehwinkel des Holographischen Gitter festgehalten werden und die Optische Bank 0,5 m gedreht werden.*

### b) Bestimmung der Wellenlängen in Littrow-Anordnung: $\alpha = \beta$

- Holographisches Gitter gegen den Uhrzeigersinn (Winkel +) drehen bis das Maximum 1. Ordnung der gelben Linie in Richtung des einfallenden Lichtbündels reflektiert wird. Dazu den Reflex auf dem Verstellbaren Spalt beobachten.
- Drehwinkel  $\omega_{\text{Zeiger}}$  des Holographischen Gitters ablesen.
- Drehwinkel verkleinern und die weiteren gut sichtbaren Linien ausmessen (Winkel +). (UV-Linie mit Hilfe eines Papiere direkt vor dem Spalt sichtbar machen.)
- Anschließend Holographisches Gitter drehen und Messung wiederholen (Winkel -).

### c) Untersuchung einzelner (aufgespalteter) Linien

- Aufbau wie unter a). Holographisches Gitter so drehen, dass die gelben Linien auf dem Schirm zu beobachten sind.
- Schirm entfernen und durch das Mikrometerokular ersetzen.
- Mikrometerokular so einstellen, dass die Skala gut ablesbar ist.
- Linse ( $f = 300$  mm) etwas verschieben, so dass die gelben Linien scharf zu beobachten sind. Holographisches Gitter etwas drehen, bis eine Linie genau auf der Mitte der Skala abgebildet wird.
- Drehwinkel des Holographischen Gitters  $\omega_{\text{Zeiger}}$  am Drehgelenk und Aufspaltung  $d$  an der Okular-Skala ablesen.
- Versuch mit den blauen Linien wiederholen.

### d) Beobachtung der Druckverbreiterung der gelben Linien

- Aufbau wie unter c). Okular so einstellen, dass die gelben Linien scharf zu beobachten sind.
- Quecksilber-Hochdruckdampflampe ausschalten und einige Minuten den Abkühlvorgang abwarten.
- Quecksilber-Hochdruckdampflampe einschalten und die gelbe Doppellinie während des Aufheizvorganges beobachten.

**Messbeispiele**

**a) Beobachtung der Spektrallinien**

– Es lassen sich sehr viele Spektrallinien auf dem Schirm beobachten.

**a) Bestimmung der Wellenlänge in Littrow-Anordnung**

– Berechnung der Wellenlänge mit

$$g = \frac{1}{N} = \frac{1}{2400 \frac{1}{\text{mm}}} \approx 417 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Farbe	Winkel +	Winkel -	Mittelwert	Wellenlänge aus (5)	Literaturwerte
	$\omega_{\text{Zeiger}}$	$\omega_{\text{Zeiger}}$	$\overline{\omega_{\text{Zeiger}}}$	$\lambda$	$\lambda$
gelb	43,5°	44,5°	44°	579 nm	578 nm*
grün	40,5°	41,5°	41°	547 nm	546 nm
blau	31,5°	31,5°	31,5°	436 nm	436 nm
violett	29°	29,5°	29,25°	408 nm	405 nm
UV	26°	26°	26°	366 nm	365 nm

\* Doppellinie

– Die berechneten Wellenlänge stimmen gut mit den Literaturwerten überein.

**b) Untersuchung einzelner (aufgespalteter) Linien**

– Mit (1), (2) und (3) und  $\omega_{\text{Bänke}} = 130^\circ$  Wellenlänge  $\lambda$  berechnen.

Farbe	Drehwinkel	Wellenlänge	Aufspaltung	Wellenlängendifferenz	Literaturwerte
	$\omega_{\text{Zeiger}}$	$\lambda$	$d$	$\Delta \lambda$	$\Delta \lambda$
gelb	76°	587 nm	1,7 mm	2,1 nm	2,11 nm
blau	60,5°	439 nm	0,85 mm	1,1 nm	1,08 nm
			1,5 mm	2,1 nm	1,91 nm

– Die berechneten Differenzen stimmen gut mit den Literaturwerten überein (s. Tabelle 1).

**d) Beobachtung der Druckverbreiterung der gelben Linien**

– Zunächst sind die beiden Linien als sehr schmale Linien zu beobachten. Mit zunehmender Temperatur und damit Druck des Quecksilberdampfes werden die beiden Linien breiter und unschärfer.