Praktikumsprotokoll

Versuch Nr. 605
Die Spektren der Alkali-Atome

Frank Hommes
und
Kilian Klug

Durchgeführt am:
16 Februar 2004

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **3**

2 Theoretische Hintergründe **3**

3 Physikalische Methoden **4**

4 Durchführung und Auswertung **6**
4.1 Beugungswinkel der Spektrallinien im He-Spektrum 6
4.2 Eichung des Okularmikrometers 6
4.3 Berechnung der Abschirmungszahlen 7
4.4 Auflösungsvermögen 7

5 Anhang **8**

1 Einleitung

In diesem Versuch mit dem Titel ”Die Spektren der Alkali-Atome” sollen einige Alkali-Metalle näher untersucht werden. Alkali-Metalle bilden im Periodensystem der Elemente die erste Hauptgruppe.

Für die Methode der Spektroskopie kann verschiedene Strahlung vom Röntgen- bis in den Infrarotbereich benutzt werden - in diesem Fall wird auf sichtbares Licht zurückgegriffen.

2 Theoretische Hintergründe

Alkali-Metalle weisen alle die Eigenschaft auf, nur ein Valenzelektron auf ihrer äußersten Schale zu besitzen (welches man auch ”Leuchtelektron” nennt). Diesen Umstand kann man ausnutzen, indem der Einfluss der inneren, geschlossenen Schalen zusammengefasst wird. Dies geschieht durch Einführung von sogenannten Abschrimungszahlen $\sigma_{1,2}$. Mithilfe dieser Abschrimungszahlen trägt man der Tatsache Rechnung, dass das am Ort des äußersten Elektrons wirksame Coulomb-Feld des Kerns teilweise durch die inneren Elektronenschalen abgeschirmt wird, sodass gilt

$$z_{eff} = z - \sigma.$$

Es ist zu beachten, dass es zwei verschiedene σ gibt - σ_1 bezeichnet man als Konstante der vollständigen Abschirmung, σ_2 als Konstante der inneren Abschirmung, da hier nur der Einfluss der inneren, vollständig besetzten Schalen berücksichtigt wird. σ_1 ist deshalb stets kleiner als σ_2.

Um nun diese Abschirmungszahlen zu bestimmen - was auch Ziel des Versuches ist - müssen die Energien der Emissionslinien in den Spektren berechnet werden. Zur Vereinfachung kann hier zwar die Ein-Elektronen-Näherung benutzt werden, jedoch stellt man fest, dass für eine vollständige Beschreibung weitere Parameter notwendig sind. Hier sind insbesondere verschiedene Quantenzahlen sowie Auswahlregeln von Bedeutung.

Die Hauptquantenzahl n beschreibt das Hauptenergieniveau (die Schale) auf der sich ein Elektron befindet. Daneben gibt es die sogenannte Bahndrehimpulsquantenzahl l, sowie den Spin (Eigendrehimpuls). Da im Falle der Elektronen der Spin nur $\pm\frac{1}{2}$ sein kann wird oft als weitere Quantenzahl eingeführt die nach

$$j = l + \frac{1}{2} \text{ bzw } j = l - \frac{1}{2}$$

den Gesamtdrehimpuls beschreibt. Eine Rolle spielt hier auch die sogenannte Spin-Bahn-Kopplung, auf die jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

Aufgrund der Abhängigkeit von diesen Quantenzahlen spalten die Hauptenergieniveaus auf in Unterniveaus. Jedoch sind nicht alle Übergänge zwischen den einzelnen Niveaus gleichwahrscheinlich. Welche Übergänge tatsächlich beobachtet werden wird duch die Auswahlregeln beschrieben. Nach diesen muss sich bei jedem Wechsel des Energieniveaus der Bahndrehimpuls l um genau 1 ändern. Ein Übergang mit $\Delta j = 0$ ist zwar möglich, jedoch unwahrscheinlich, während sich n nahezu beliebig ändern kann (je größer Δn desto unwahrscheinlicher).

Auch die Benennung der so festgelegten Energiezustände folgt gewissen (allerdings historisch bedingten) Regeln. So wird der Wert von l durch Großbuchstaben ausgedrückt mit $0\hat{=}S$, $1\hat{=}P$, $2\hat{=}D$ und $3\hat{=}F$. Vor diesen steht n, während j als Index angehängt wird.

Mit Kenntnis der verschiedenen Energiewerte lässt sich auch die Duplett-Struktur in den Spektren der Alkali-Elemente erklären. Als Duplett bezeichnet man zwei Emissionslinien im Spektrum die nahe beieinander liegen. Diese sind dadurch bedingt, dass die Energieniveaus mit gleichem l aber unterschiedlichem j viel dichter zusammen liegen als beispielsweise diejenigen mit unterschiedlichem l (oder n).

Die konkrete Berechnung der Energiniveaus ist auch mit der bereits erwähnten Ein-Elektronen-Näherung recht kompliziert und soll deshalb hier nicht vorgeführt werden. Unter Beachtung relativistischer Effekte und der quantenmechanischen Störungstheorie gelangt man nach längerer Rechnung zu folgendem Ergebnis für den Abstand der Linien eines Dubletts:

$$\Delta E_D := E_{n,j} - E_{n,j+1} = \frac{R_\infty \alpha^2}{n^3}(z-\sigma_2)^4 \frac{1}{l(l+1)}$$

mit

$$\Delta E_D = hc\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

(R_∞ =Rydberg-Energie, α =Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante)

Da die Größen ΔE_D, l, n und z bekannt sind oder experimentell ermittelt werden kann hieraus nun die gesuchte Abschirmungszahl σ_2 berechnet werden.

3 Physikalische Methoden

Um die Größen λ und $\Delta\lambda$ zu bestimmen wird ein Gitterspektralapparat verwendet, wie er in Abb. 1 dargestellt ist.

(1=Kollimatorrohr, 1.1=Spaltblende, 2=Gittertisch, 3=schwenkbares Fernrohr, 4=Teilkreisplatte)

Das von einer Dampflampe des entsprechenden Elementes ausgesandte und mit einer Linse parallelisierte Licht fällt durch das Kollimatorrohr auf ein Git-

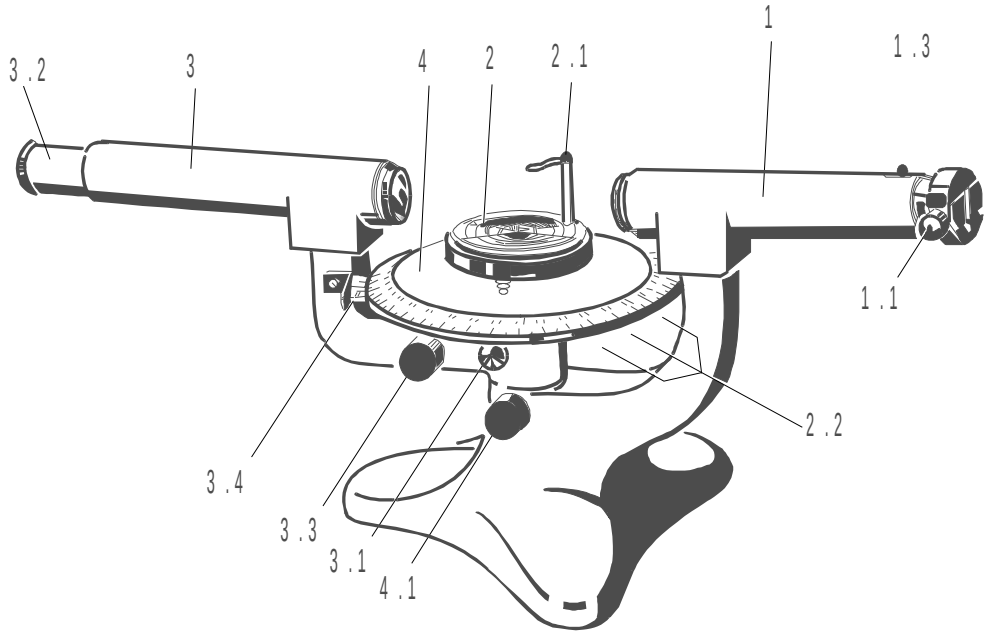


Abbildung 1: Gitterspektralapparat

ter. An diese wird es gebeugt und zwar verschieden stark abhängig von der Wellenlänge. Das sich ergebende Beugungsbild weist eine Anzahl an Hauptmaxima von nach außen hin abnehmender Intensität auf, deren Ordnung mit k bezeichnet wird. Das Hauptmaximum in der Mitte, welches die größte Intensität aufweist, sei von der Ordnung null. Um von der Beugung zu profitieren und gleichzeitig eine möglichst große Intensität (und damit gute Ablesbarkeit) zu erreichen werden alle Messungen in 1ter-Ordnung gemacht.

Aus dem an der Teilkreisplatte ablesbaren Winkel φ, unter dem die Emissionslinien sichtbar sind, kann somit auf die zugehörige Wellenlänge geschlossen werden. Hierfür gilt der Zusammenhang

$$\sin\varphi = \frac{k\lambda}{g}$$

wobei g die Gitterkonstante (=Abstand der Spaltmitten) ist.

Von Interesse ist auch das Auflösungsvermögen des verwendeten Apparates, welches ein Maß für die kleinste messbare Wellenlängenänderung ist. Es ist definiert als der Abstand zweier Wellenlängen, bei denen das Hauptmaximum der ersten auf das erste Minimum neben dem Hauptmaximum der zweiten fällt, wo-

bei gilt

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kp$$

mit p=Anzahl der beleuchteten Gitterspalte und λ= Mittelwert der gerade noch auflösbaren Wellenlängen.

Um auch die Alkali-Dublette auflösen zu können wird nicht nur das Fernrohr benutzt, sondern ein eingebautes Okularmikrometer. Diese muss jedoch geeicht werden um verwertbare Ergebnisse zu erhalten. Bei der Bestimmung des Eichfaktors für die Umrechnung der mit dem Mikrometer gemessenen Abstände in Wellenlängendifferenzen muss beachtet werden, dass der Beugungswinkel nichtlinear von der Wellenlänge abhängt. Hier ist das folgende Transformationsgesetz zu verwenden:

$$\Delta\lambda = \frac{\cos\overline{\varphi}}{\cos\overline{\varphi}_{1,2}} \frac{\Delta s}{\Delta t}(\lambda_1 - \lambda_2)$$

Dabei sei Δs der Abstand der Dublett-Linien, $\overline{\varphi}$ der Mittelwert der zugehörigen Winkel und $\overline{\varphi}_{1,2}$ der Mittelwert der zu den beiden benachbarten Spektrallinien λ_1 und λ_2 gehörigen Winkel.

4 Durchführung und Auswertung

Aufgrund des symmetrischen Aufbaus der Apparatur wurden alle Winkel und Abstandsmessungen zweimal durchgeführt - für das nach rechts und das nach links gebeugte Spektrum. Aus beiden Messwerten wurde der einfache Mittelwert errechnet.

4.1 Beugungswinkel der Spektrallinien im He-Spektrum

Um eine Referenz für die späteren Messungen und Berechnungen zu haben, sollen zunächst die Beugungswinkel gemessen werden, unter denen die wichtigsten Spektrallininen im Helium-Spektrum erscheinen, wobei die zugehörigen Wellenlängen bekannt sind. Unsere Ergbenisse sind in Tab. 1 aufgetragen.

Durch Auftragen von $\sin\varphi$ gegen λ (Abb. 2)erhält man mittels linearer Regression die Gitterkonstante g des verwendeten Gitters.

Sie beträgt bei uns $9,95 \cdot 10^{-7}(\pm 2,54 \cdot 10^{-9})m$

4.2 Eichung des Okularmikrometers

Um den Eichfaktor $(\lambda_1 - \lambda_2)/\Delta t \cos\overline{\varphi}_{1,2}$ zu erhalten, wurden - ebenfalls im Helium-Spektrum - drei Paare von bekannten Linien vermessen.

Aus diesen drei Messungen erhält man als Mittelwert für den Eichfaktor $2,61 \cdot 10^{-2}(\pm 1,75 \cdot 10^{-3})\frac{\text{nm}}{\text{skt}}$ (Tab. 2).

4.3 Berechnung der Abschirmungszahlen

Hier sollten einige Dublette von verschiedenen Elementen ausgemessen werden, um die Abschirmungszahlen errechnen zu können. Dazu wurden die Beugungswinkel abgelesen, unter denen die Mitten der jeweiligen Dublette erschienen, sowie mit dem Okularmikrometer die Abstände der beiden Linien gemessen.

Mit den oben genannten Formeln findet man

$$\sigma_2 = z - \sqrt[4]{\frac{2n^3}{R_\infty \alpha^2} E_D}.$$

Die weiteren Ergebnisse sind im Anhang in Tab. 3 aufgelistet.

4.4 Auflösungsvermögen

Das Auflösungsvermögen des verwendeten Gitterspektralaparates sollte am gelben Natrium-Dublett untersucht werden. Dazu wurde der Spalt, durch den das Licht der Natrium-Dampf-Lampe fiel immer weiter verkleinert, bis die beiden Linien des Dubletts ineinander übergingen. Dies geschah, wie an einer Skala abgelesen werden konnte, bei einer Spaltbreite von 1,05 mm. Damit ergibt sich

$$p = \frac{1,05 \cdot 10^{-3} m}{9,95 \cdot 10^{-7}} \approx 1055,3$$

und somit

$$A \approx 1055,3.$$

Für das gelbe Natrium Dublett erhält man für $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{588\text{nm}}{0.57\text{nm}} \approx 1031,6$, so dass das Auflösungsvermögen des verwendeten Gitterspektralapperates ausreichend ist.

5 Anhang

Farbe	lambda [nm]	$\phi links$ [deg]	ϕ_{rechts} [deg]	$\Delta\lambda$	ϕ_0	ϕ
dunkelrot (l)	706.5	183.2	273.6		229.8	45.20
rot (s)	667.8	186.6	270.7	38.7	229.8	42.05
gelb (s)	587.6	192.9	265.1	80.19	229.8	36.10
grün (l)	504.8	198.7	259.7	82.8	229.8	30.50
grün (s)	501.6	199	259.5	3.12	229.8	30.25
blaugrün (a)	492.2	199.6	258.9	9.40	229.8	29.65
blau (s)	471.3	201.1	257.5	20.9	229.8	28.2
violett (s)	447.1	202.8	256	24.2	229.8	26.6
violett (l)	438.8	203.4	255.6	8.30	229.8	26.10

Tabelle 1: Messung der Beugungswinkel bei Helium (Teil a)

Legende:

- l = low
- a = medium
- s = strong

linien	ϕ_{mitte}	abstand in skalenteilen	λ [nm pro skalenteil]
grün / grün	198,9	154	$2{,}42 \cdot 10^{-2}$
blaugrün/blau	200,3	877	$2{,}70 \cdot 10^{-2}$
blau/violett	201,9	997	$2{,}71 \cdot 10^{-2}$
		Ein Skalenteil :	$2{,}61 \cdot 10^{-2}$
		Fehler:	$1{,}75 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 2: Bestimmung der Eichgröße (Teil b)

natrium						
Farbe:	$\overline{\phi}$	Abstand in Skt.	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	ΔE_D [meV]	σ_2
rot	38.15	31	615	0.64	2.09	7,47
gelb	36.2	27	588	0.57	2.04	7,49
grüngelb	34.75	24.5	567	0.52	2.03	7,49
					Mittelwert:	7,48
					Fehler:	0.01
kalium						
Farbe:	$\overline{\phi}$	Abstand in Skt.	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	ΔE_D [meV]	σ_2
1.grün	32.3	66	532	1.5	6.39	13.20
2.grün	32.4	71	533	1.6	6.83	13.11
1.gelb	35.45	577	75.5	1.6	5.98	13.30
2.gelb	35.75	581	82.5	1.7	6.41	13.20
					Mittelwert:	13.20
					Fehler:	0.08
rubidium						
Farbe:	$\overline{\phi}$	Abstand in Skt.	λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	ΔE_D [meV]	σ_2
rot	38.85	421	624	8.6	27.2	27.15

Tabelle 3: Bestimmung von σ_2 (Teil c/d)

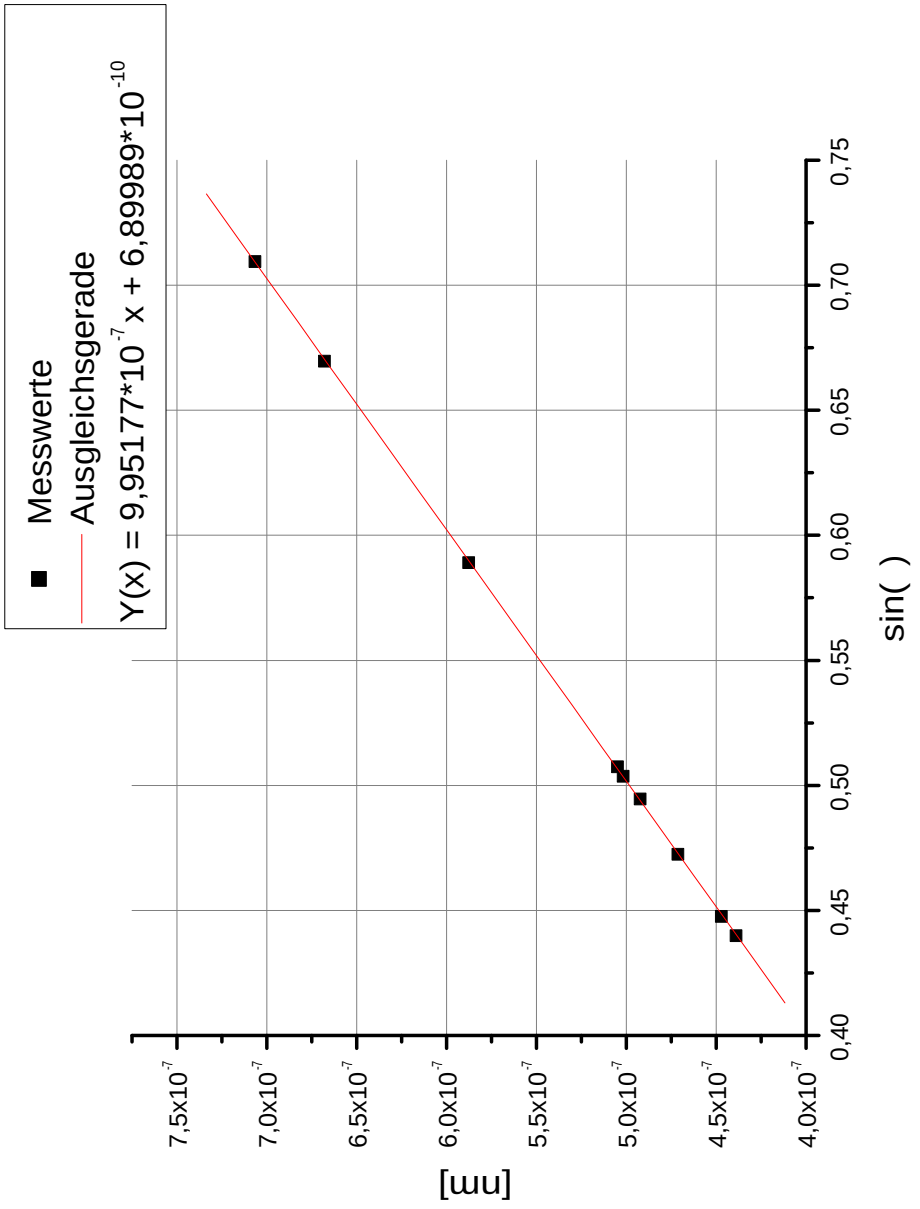


Abbildung 2: Ausgleichsgerade zur Bestimmung von g