

Spektroskopie und Balmer-Serie

Einleitung

In diesem Versuch sollen Emissionsspektren verschiedener Lichtquellen untersucht werden.

1. Der Wolframglühfaden einer Halogenleuchte sendet ein kontinuierliches Spektrum aus und kann in guter Näherung als ein schwarzer Strahler angesehen werden.
2. Die Spektren von Gasentladungslampen mit Quecksilber oder Wasserstoff im Füllgas zeigen scharfe Spektrallinien. Diese stammen von Übergängen zwischen diskreten Energiezuständen der beteiligten Atome. Das Wasserstoffatom ist besonders einfach, da es nur aus einem Proton und einem Elektron besteht. Seine Energiezustände können mit dem Bohrschen Atommodell erklärt werden und stimmen mit den exakten Lösungen der Schrödingergleichung überein.

Dieser Versuch soll Ihnen darüber hinaus zeigen, wie mit einem Rechner ein Experiment angesteuert und wie die erhaltenen Daten dargestellt und ausgewertet werden können.

Stichworte für die Versuchsvorbereitung

- Linsengesetze, Beugung am Gitter, Funktionsweise eines Gitterspektrometers
- schwarzer Strahler, Plancksches Strahlungsgesetz
- Bohrsches Atommodell, Wasserstoffatom, Balmer-Serie, Schrödingergleichung, Termschemata

Literatur

- allgemeine Lehrbücher der Physik (z.B. Tipler „Physik“, Spektrum Verlag 1994 oder Gerthsen „Physik“, Springer Verlag, 1999)
- H. Haken und H.C. Wolf: „Atom- und Quantenphysik“, Springer Verlag, 1996
- T. Mayer-Kuckuk: „Atomphysik“, Teubner Verlag, 1985
- A. Striganov and N. Sventitskii: „Tables of spectral lines of neutral and ionized atoms“,IFI / Plenum Press 1968
- Kohlrausch, Praktische Physik Band 3, Teubner Verlag, 1985.

Beschreibung des Spektroskopiemessplatzes

Das Licht der zu untersuchenden Strahlungsquelle wird mit einer direkt davor angebrachten Chopperscheibe mit einer Frequenz moduliert und mit der Sammellinse auf den Eintrittspalt des Gittermonochromators gebündelt. Die Linse bildet dabei die Lichtquelle auf den Eintrittspalt ab. Im Monochromator wird das Licht spektral zerlegt und es trifft nur Licht einer bestimmten Wellenlänge auf den Austrittspalt.

Dieses Licht erzeugt in einer Silizium-Photodiode einen Photostrom, der mit einem Vorverstärker verstärkt und in eine Spannung umgewandelt wird, die schließlich mit einem Lock-In-Verstärker gemessen wird. Im Lock-In-Verstärker wird dieses Signal frequenz- und phasenempfindlich gleichgerichtet, verstärkt und seine Amplitude angezeigt. Der periodische Verlauf des Photostroms kann gleichzeitig über ein angeschlossenes Oszilloskop angezeigt werden.

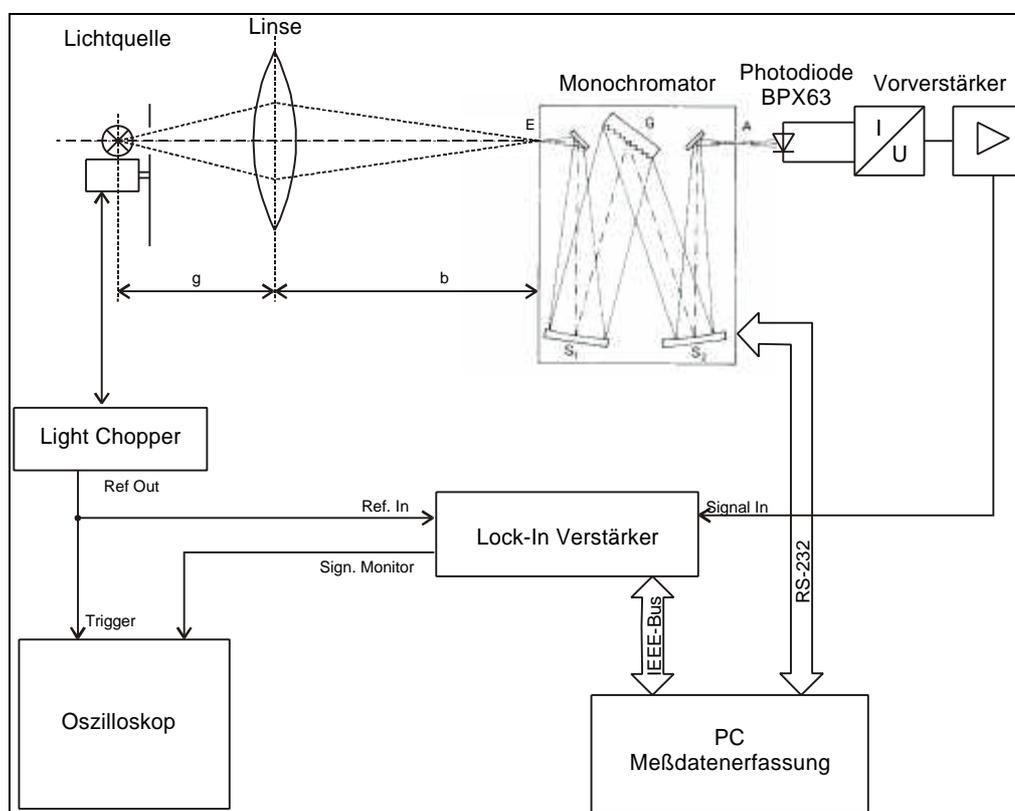


Abb. 1: Versuchsaufbau Spektroskopie

Mit diesem Aufbau können Emissionsspektren im Wellenlängenbereich von 350 bis 1200 nm gemessen werden. Hierzu wird das Monochromatorgitter in kleinen Schritten gedreht und nach jedem Schritt die aus dem Austrittspalt tretende Lichtintensität mit der Photodiode und dem angeschlossenen Lock-In Verstärker gemessen. Das Einstellen der Wellenlänge und Ablesen des Photostroms ist automatisiert und wird von einem angeschlossenen Rechner durchgeführt. Im Steuerprogramm müssen dazu nur der Wellenlängenbereich und die Schrittweite angegeben werden. Resultat ist eine ASCII-Datei, in der die für die verschiedenen Wellenlängen gemessene Intensität tabelliert ist. Mit einem weiterführenden Programm, z.B. ORIGIN, kann diese Wertetabelle graphisch dargestellt und ausgewertet werden.

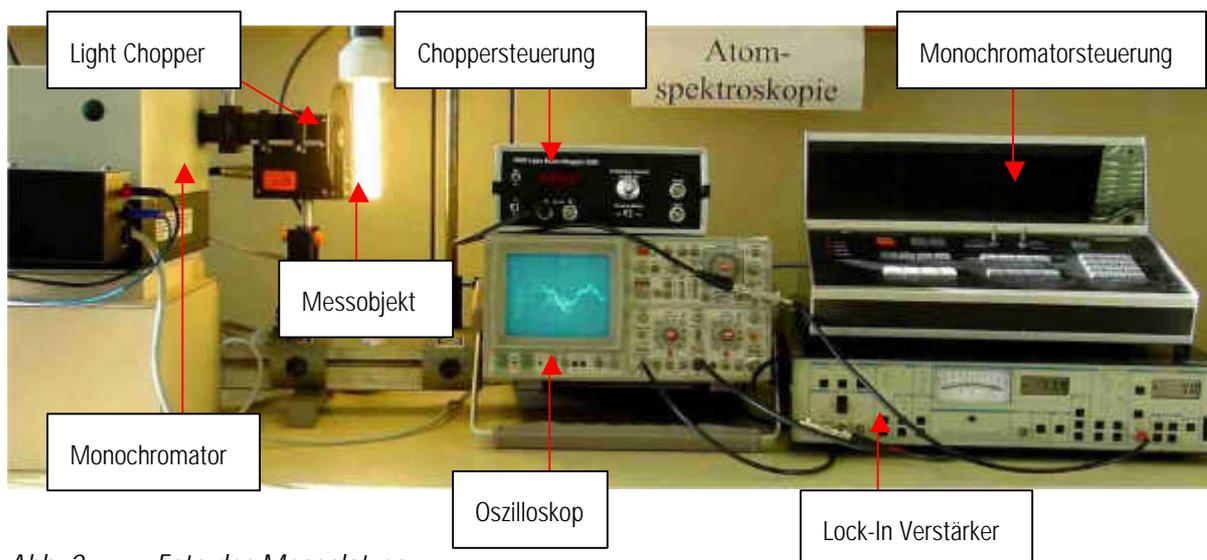


Abb. 2: Foto des Messplatzes

Messung mit Digikröm CM 110 (Auflösung 1 nm)

Bedienung des Messprogramms CLI.EXE:

Das Programm CLI.EXE ist ein sehr einfacher "Command Line Interpreter" mit dem Monochromator und Lock-In-Verstärker gesteuert und ausgelesen werden können. Es ist bewusst sehr einfach gehalten, da damit nur die eigentliche Messung automatisiert werden soll. Die wichtigsten Befehle des "Command Line Interpreters" sind unten aufgelistet, "_" steht dabei für ein Leerzeichen:

Monochromator-Befehle:

- wave** zeigt die aktuelle Wellenlänge an
- goto_632.8** stellt die Wellenlänge auf 632.8 nm ein
- +** vergrößert die aktuelle Wellenlänge um den kleinstmöglichen Schritt (ca. +0.1 nm)
- verringert die aktuelle Wellenlänge um den kleinstmöglichen Schritt (ca. -0.1 nm)
- size_+10** stellt die Schrittweite für den Befehl "s" auf +10 nm
- s** verändert die aktuelle Wellenlänge um den mit "size" eingestellten Wert

Aufnahmen eines Spektrums:

- scan_400_1000_5_4_test.dat_n** führt einen "scan" von 400 bis 1000 nm mit der Schrittweite 5 nm durch. Die Messzeit für jeden einzelnen Messwert beträgt 4 mal die größte am Lock-In-Verstärker eingestellte Zeitkonstante ($t_{cf} = \text{"time constant factor"} = 4$). Die Messwerte (Wellenlänge und Intensität) werden in der Datei "test.dat" abgespeichert, die dazu neu angelegt wird ($fflag = \text{"file flag"} = n = \text{"new"}$).

Mit dem Befehl **"help"** werden alle Befehle des Command Line Interpreters angezeigt, Eingabe eines Befehls ohne Parameter zeigt die Befehlssyntax an, und mit "quit" wird das Program beendet.

Das Programm CLI.EXE kann unter Windows aufgerufen werden und läuft auch im Hintergrund, so dass Sie parallel zu den Messungen bereits aufgenommene Spektren mit ORIGIN auswerten und ausdrucken können.

Monochromator Taste OPTIONS bis REMOTE erscheint → ENTER → Monochromator kann über PC gesteuert werden

Messung mit Monochromator HR 320 (Auflösung 0,1 nm)

Bedienung des Messprogramms zur Durchführung eines Scans:

1. PC Programm starten durch C:\TP\TM20a, Menue erscheint.
2. Steuergerät einschalten,
3. Art des Scans auf "UPSCAN",
4. Steuerungsart auf "REMOTE"
5. "RESET" am Steuergerät betätigen, und Wellenlänge der Monochromatoranzeige eintippen:
Beispiel:
"4892 und 2 Teilstriche" entspricht "4892.4" (in Einheiten 10^{-10}m)

mit der Taste "POSIT" bestätigen.
6. Am PC erscheint das Menue:
"1" drücken, da ein RESET durchgeführt wurde
7. "2" drücken, um Parameter einzugeben
Gitter: "1200" (immer)
Startwellenlänge immer in nm: "430" (Beispiel)
Stopwellenlänge immer in nm: "460" (Beispiel)
Schrittweite immer in nm: "0.02" (Beispiel), es darf kein Komma sein!
Scanwiederholungen: "1" (immer)
Zeit: "0.01" (immer)
8. "4" drücken und Dateinahmen eingeben, Beispiel: "mtest1.txt"
9. "5" drücken, um Scan zu starten, Eingabetaste drücken, wenn "I gesendet" angezeigt wird.
10. Warten, bis Monochromator die Startwellenlänge erreicht hat. "SLEW" am Steuergerät blinkt bis dahin. Danach beliebige Taste drücken.
11. "6" verwenden, um das Spektrum anzuzeigen. Dazu Dateiname "mtest1.txt" (Beispiel) eingeben, Eingabetaste drücken, um zum Menue zurückzukehren. Dateien unter "C:\Scan*.txt" speichern

Versuchsdurchführung und Aufgaben

1. Glühlampenspektrum und Übertragungsfunktion

Justieren des Versuchsaufbaus:

Die Halogenbirne beleuchtet eine Lochblende, die die Lichtquelle darstellt. Das durch die Blende tretende Licht wird mit der Sammellinse auf den Eintrittspalt des Monochromators gebündelt (Abb. 2). Achten Sie darauf, dass sich alle optischen Komponenten, d.h. Glühfaden, Lochblende, Sammellinse, Eintrittspalt, Austrittspalt und Photodiode auf der optischen Achse befinden. Wählen Sie die Position der Sammellinse so, dass die Lochblende scharf auf den Eintrittspalt abgebildet wird. Unmittelbar hinter die Lochblende wird der "Chopper" aufgestellt, der die Lichtintensität mit einer charakteristischen Frequenz moduliert und den Nachweis mit einem Lock-In-Verstärker ermöglicht. Blicken Sie durch den Austrittspalt in den Monochromator auf das Gitter und kontrollieren Sie, ob das Gitter gleichmäßig ausgeleuchtet wird. Falls nicht, ändern Sie die Position von Sammellinse und Lochblende.

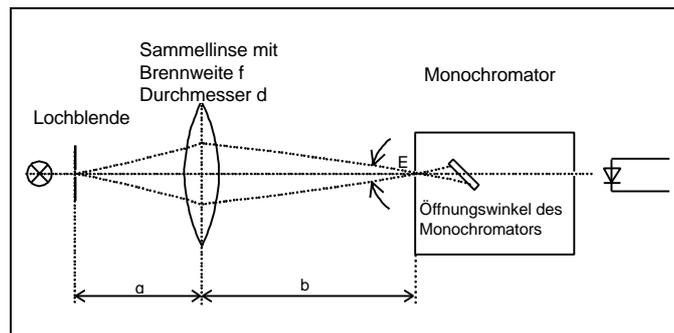


Abb. 3: optische Anpassung des Monochromators

Um eine möglichst effiziente Lichtausbeute des Monochromators zu gewährleisten, muss der Öffnungswinkel der Linse dem des Monochromators angepasst werden (optimale Ausleuchtung des Beugungsgitters). Es gilt:

$$\frac{b}{d} = F/\#$$

mit $F/\# = 3,9$ für Monochromator Digikröm CM 110. Über die Beziehung $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$ kann die

Gegenstandsweite g berechnet werden (siehe Anleitung Monochromator).

Weitere Daten des Monochromators:

Gitterbreite:	30 mm
Gitterkonstante:	1200 lines/mm

Aufnahme von Emissionsspektren:

1. Betreiben Sie die Halogenglühlampe mit genau 12 V. Messen Sie die angelegte Spannung mit einem Multimeter.
2. Gleichen Sie die Phase am Lock-In-Verstärker ab.
3. Vergleichen Sie das Messsignal unmittelbar nach dem Vorverstärker mit dem am Monitor-Output des Lock-In-Verstärkers. Triggern Sie dazu das Oszilloskop mit der Referenzfrequenz. Welchen Einfluss haben die verschiedenen Filter und welchen die Empfindlichkeit, die am Lock-In eingestellt wird?
4. Nehmen Sie ein Spektrum der Glühlampe von 300 bis 1300 nm in 1 nm-Schritten auf ($t_{cf} = 4$, Zeitkonstanten am Lock-In: $pre = 300$ ms, $post = 100$ ms). Verwenden Sie Ein- und Austrittspalte mit 300 μ m Breite. Wie groß ist dabei die Auflösung des Monochromators?
5. Stellen Sie das aufgenommene Spektrum graphisch dar, z.B. mit ORIGIN.

Bestimmung der Übertragungsfunktion:

In dem auf diese Weise gemessenen Spektrum ist der Photostrom an der Photodiode, multipliziert mit einem Verstärkungsfaktor, als Funktion der Wellenlänge aufgetragen. Wie aber der Photostrom mit der Lichtintensität zusammenhängt, ist von der Nachweisempfindlichkeit des Gesamtsystems aus Sammellinse, Gitter und Photodiode abhängig. Diese Nachweisempfindlichkeit hängt von der Wellenlänge ab, da sowohl die Transmission durch die Sammellinse, die Beugungseffizienz des Gitters als auch die Ansprechempfindlichkeit der Photodiode von der Wellenlänge abhängen.

Das Emissionsspektrum der 20-W-Halogenglühlampe ist in guter Näherung das Spektrum eines schwarzen Planckschen Strahlers $I_{Planck}(\lambda)$ mit einer Farbtemperatur von $T = 3150$ K. Daher kann durch Vergleich mit dem gemessenen Spektrum $I_{gemessen}(\lambda)$ die gesuchte Nachweisempfindlichkeit $\epsilon(\lambda)$ als Funktion der Wellenlänge λ bestimmt werden. Es gilt:

$$I_{gemessen}(\lambda) = e(\lambda) \cdot I_{Planck}(\lambda, T)$$

Dabei ist

$$I_{Planck}(\lambda, T) \sim \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

$\epsilon(\lambda)$ ist daher:

$$e(\lambda) = C \cdot \frac{I_{gemessen}(\lambda, T)}{I_{Planck}(\lambda)}$$

Da es in diesem Fall nicht auf die absoluten Einheiten, sondern nur auf den Verlauf von $\epsilon(\lambda)$ über der Wellenlänge λ ankommt, kann die Konstante C nach Belieben gewählt werden, z.B. so, dass der Maximalwert von $\epsilon(\lambda)$ 1 ist. Ist $\epsilon(\lambda)$ bekannt, kann jedes gemessene Spektrum durch $\epsilon(\lambda)$ geteilt werden, um den "wahren" Verlauf der Intensität zu erhalten.

Lassen Sie sich vom Betreuer zeigen, wie im Programm ORIGIN mit Spalten gerechnet werden kann und bestimmen Sie $\epsilon(\lambda)$ aus Ihrem gemessenen Glühlampenspektrum. In welchem Wellenlängenbereich können mit dem vorhandenen Monochromator und Detektor Spektren gemessen werden? Aus welchem Grund kann nicht zu kleineren und aus welchem Grund nicht zu größeren Wellenlängen hin gemessen werden?

2. Wasserstoffspektrum, Balmer-Serie

Die Emissionslinien der Balmer-Serie entstehen bei Übergängen des Wasserstoffatoms von Energiezuständen mit der Hauptquantenzahl $n_i \geq 3$ in den Zustand mit $n_f = 2$. Für die Wellenlänge λ des Lichtes, das dabei ausgesandt wird, gilt:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right),$$

wobei $R_H = 109677,5810 \text{ cm}^{-1}$ die Rydberg-Konstante ist.

- Messen Sie das Spektrum der H-Lampe im Bereich von 300 bis 1300 nm mit 1 nm Schrittweite und mit einer Schlitzweite von 300 μm . Setzen Sie dazu die H-Lampe und ihr Gehäuse an die Stelle der Lochblende. Zum Justieren des Aufbaus stellen Sie den Monochromator auf eine starke Spektrallinie ein. Korrigieren Sie auch dieses Spektrum um die Nachweiseffizienz.

Welche der beobachteten Spektrallinien stammen von H-Atomen? Welche der Linien gehören zur Balmer-Serie? Welche Elemente sind auch noch im Plasma vorhanden und "verraten" sich durch ihre charakteristischen Spektrallinien?

Bestimmen Sie aus den gemessenen Spektren die Position der Balmer-Linien $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma$ usw. und tragen Sie die Werte $1/\lambda$ über $1/n_i^2$ auf. Sie sollten alle auf einer Geraden liegen. Warum? Bestimmen Sie aus der Steigung der Regressionsgeraden die Rydberg-Konstante R_H .

3. Spektrum einer Leuchtstofflampe

- Messen Sie das Spektrum der Leuchtstofflampe im Bereich von 300 bis 1300 nm mit 1 nm Schrittweite und mit einer Schlitzweite von 125 μm . Ersetzen Sie dazu die Wasserstofflampe durch die Leuchtstoffröhre und eine Lochblende.

Versuchen Sie die verschiedenen Leuchtstoffe der Leuchtstofflampe an Hand ihrer charakteristischen Spektrallinien zu identifizieren.

Physiklabor 2

Versuch vom 17.11.2004

Atomspektroskopie

Marc Baumann, Matr. 13855
Kai-Uwe Berroth, Matr. 13842

Weingarten, 17.11.2004

Einleitung:

Die Spektrallinien einer Quecksilberlampe und einer Wasserstofflampe sollten aufgenommen und untersucht werden. Zur Ermittlung von Korrekturfaktoren für die Versuchsanordnung (hauptsächlich Photodiode) wurde ebenfalls ein Halogenlampenspektrum aufgenommen. Dieses entspricht in guter Näherung der spektralen Strahlendichte eines schwarzen Strahlers bei 3150 Kelvin.

Technischer Hintergrund:

1884 entdeckte der Lehrer Johann Balmer, dass die Wellenlängen einiger Linien des Wasserstoffs durch die Formel:

$$\lambda = (364,6nm) \frac{n_i^2}{n_i^2 - 4} \quad n_i : \text{ganzzahlige_Zahl}$$

sich ergeben.

Etwas später zeigte es sich, dass diese Formel ein Spezialfall der Rydberg-Ritz-Formel ist, die die reziproke Wellenlänge (Wellenzahl) angibt.

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad n_f, \text{ganzzahlig_und_} < n_i$$

Setzt man in diese Formel die Kernladung des Wasserstoffes als „Z“ ein ergibt sich die Rydberg-Konstante für Wasserstoff mit $R_H = 109677,581 \cdot 1/cm$. Für andere Elemente weicht die Konstante geringfügig ab und hat einen Grenzwert für $R_\infty = 109737,73 \cdot 1/cm$.

Neben der Balmerreihe wurden die Lyman-, Paschen-, Brackett- und die Pfundserie entdeckt. Ungefähr 1900 entdeckte Planck seine Strahlungsformel die ihm die Berechnung des Emissionsvermögens eines schwarzen Strahlers ermöglichte.

Die Hauptidee war das die Energien in kleinen, diskreten Paketen den so genannten Quanten absorbiert und emittiert wird.

$$L_e(\lambda, T) = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot c}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1}$$

h: Plancksches Wirkungsquantum $h = 6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$

c: Lichtgeschwindigkeit $c = 2,998 \cdot 10^8 m \cdot s^{-1}$

k: Boltzmann-Konstante $k = 1,38 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$

T: Absolute Temperatur [Kelvin]

λ : Wellenlänge [m]

Bohr baute sein Atommodell 1913 auf diese Idee auf und konnte damit die Wellenlängen der bekannten Spektrallinien des Wasserstoffspektrums beweisen.

Bohrs Atommodell war nicht problemlos. Gegen seine Theorie sprach, dass die rotierenden Elektronen um einen positiv geladenen Kern Strahlung emittieren.

Da Strahlung äquivalent zur Energie ist, müssten die Elektronen Energie verlieren und letztendlich auf den Atomkern auftreffen.

Um dies zu vermeiden, stellte Bohr seine drei Postulate auf:

1. In einem Atom bewegt sich ein Elektron nach den Gesetzen der klassischen Mechanik auf konkreten Kreisbahnen.
2. Die Bewegung des Elektrons erfolgt strahlungslos, bei einer Änderung des Orbits erfolgt die Ausstrahlung eines Photons mit der Frequenz:

$$f = \frac{E_a - E_e}{h}$$

wobei E_a die Energie des Ausgangsorbits und E_e die Energie des Endorbits ist.

3. Der Drehimpuls eines Elektrons auf einem stabilen Orbit nimmt nur konkrete Werte an

Ein weiterer Beweis für Bohrs Idee war, dass die Schrödingergleichung die gleiche Energiewerte lieferte.

Versuchsdurchführung:

1. Einschalten der Geräte am Versuchsmessstand
2. Aufbau der Halogenlampe und Kontrolle der Versorgungsspannung 12V mit Hilfe eines Externen Multimeter
3. Kontrolle der Intensität am Gitter des Monochromators (weißes Papier), gegebenenfalls Nachjustierung der Linse.
4. Lock-in-Verstärker-Phase auf Null abgleichen, anschließend Phase um 90° erhöhen
5. Monochromatorsteuerung auf Remote umstellen
6. Bei der Halogenlampe eine Wellenlänge von ca. 900 nm am Monochromator einstellen und Lock-in-Verstärker auf Übersteuerung überprüfen (Höchste Intensität). Gegebenenfalls Lichtquelle weiter vom Monochromator entfernen.
7. Messung am PC mit Wellenlängenbereich, Schrittweite, Multiplikator für Zeitkonstante des Lock-in-Verstärkers und Name der Datei starten.
8. Aufbau der Halogenlampe und Wiederholung der Schritte 3-7 (außer 6).
9. Aufbau der Wasserstofflampe und Wiederholung der Schritte 3-7 (außer 6).
10. Zusätzlich bei der Wasserstofflampe einen Ultraviolettfiter bei einer Wellenlänge von ca. 480 nm zwischen Lampe und Monochromator einsetzen

Lock-in-Verstärker-Einstellungen:

Die 50 und 100Hz Vorfilter müssen eingeschaltet werden, um Brummspannungs- und Streulichteinflüsse (Raumbeleuchtung) zu kompensieren.

Chopperrad:

Das in den Monochromator einfallende Licht wird mit dem Chopperrad mit einer Frequenz von ca. 80 Hz moduliert. Dies ist notwendig um andere Signale die nicht moduliert sind mit Hilfe des Lock-in-Verstärkers auszuschließen.

Auswertung:

Ermittlung des Korrekturfaktors der Nachweisempfindlichkeit

Der theoretische Wert des schwarzen Strahlers kann mit Hilfe der Planckschen Strahlungsformel für jede Wellenlänge berechnet werden. Die Messwerte der Wolframlampe ergeben allerdings etwas abweichende Werte. Aus beiden Werten kann ein Korrekturfaktor durch Division ermittelt werden. Da unser Spektrum der Wolframlampe bei seinem max. Wert eins entsprechen soll, werden die Ergebnisse normiert. Diese Ergebnisse sind im Diagramm der Wolframlampe dargestellt.

Anschließend übernehmen wir die auf eins normierte, korrigierte Wolframmesskurve als Empfindlichkeitsfaktoren der Photodiode für die Wellenlängen in die Rechnungen der Wasserstoff- bzw. der Quecksilberlampe. Teilt man deren Messergebnisse durch die Empfindlichkeitsfaktoren, so erhält man eine relative Intensität. Diese drucken wir in halblogarithmische Diagramme. Zuletzt ermittelten wir mit einer Sonderfunktion von „Origin“ die Wellenlänge der Maximalwerte.

Monochromator:

Das Auflösungsvermögen des Monochromators beträgt für eine Wellenlänge von 1300 nm mit einer Gitterkonstante von 1200 Linien / mm und einer Gitterbreite von 30 mm:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{N} = \frac{1300 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{1200000 \text{ m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m}} = 0,036 \text{ nm}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{N} = \frac{300 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{1200000 \text{ m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m}} = 0,0083 \text{ nm}$$

Das Auflösungsvermögen ist proportional zur Wellenlänge, wird sie größer, nimmt das Auflösungsvermögen zu.

Laut Bedienungsanleitung liegt die maximale Auflösung bei < 0.2 nm. Wir betrachten diese Werte allerdings nur theoretisch, da etwas später in der Bedienungsanleitung eine Genauigkeit von $\Delta\lambda=1$ nm bei einer Standardspaltgröße von 0,3 mm angegeben wird. Sicherheitshalber verwenden wir bei nachfolgenden Rechnungen diesen Wert.

Bei dem verwendeten Gitter mit 1200 Strichen/mm kann bis max. $\lambda=1500$ nm gemessen werden. Laut Bedienungsanleitung können mit der Photodiode BPX63 Wellenlängen im Bereich von 350 bis 1100 nm gemessen werden.

→ Die Bandbreite wird also von der Photodiode vorgegeben.

Wasserstoffspektrum, Balmer-Serie

Gemessener Wert λ [nm]	Literaturwert λ [nm]	Zuordnung
408	410	H_δ
421	434	H_γ
446	(444)	He
496	486	H_β
544	(542)	Xe ⁺²
628	(616)	O ⁺¹
668	656	H_α
789	794	$2H_\epsilon$
857	855	H
938	(934)	Mg ⁺²
1141	3*380=1140	H

Bestimmung der Rydberg-Konstanten R_H

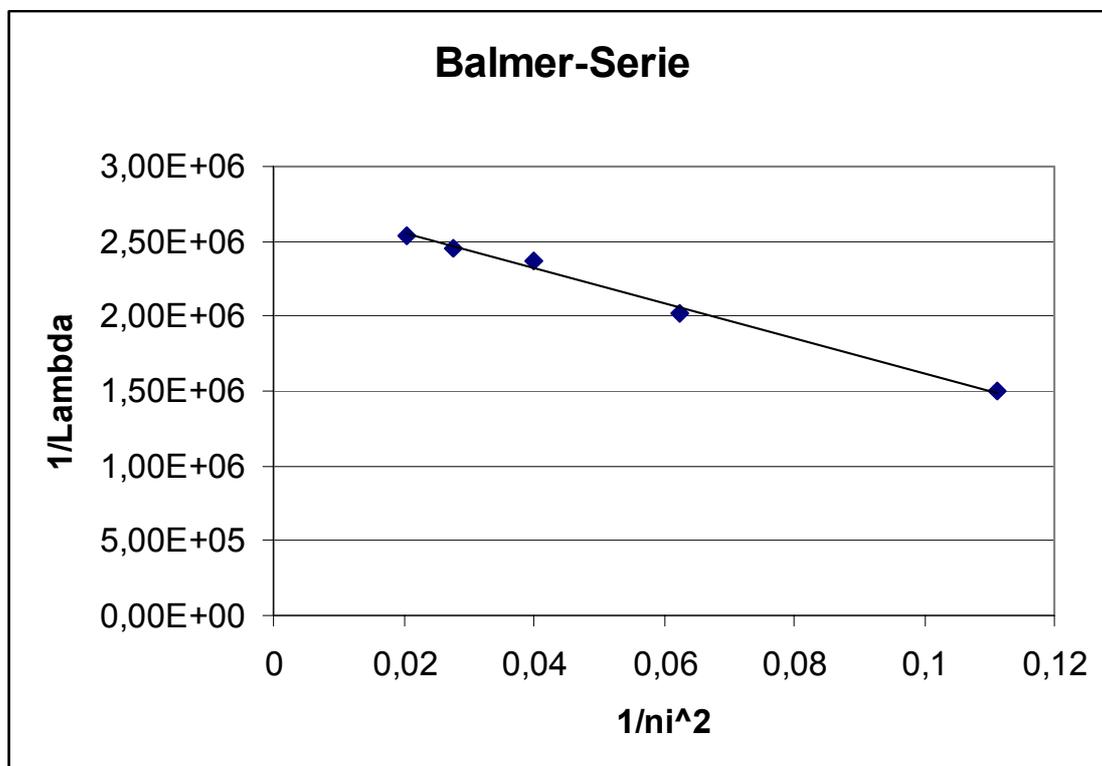
Mit Hilfe der ermittelten Wellenlängen der Spektrallinien $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta, H_\epsilon$ kann die Rydberg-Konstante R_H bestimmt werden. Da alle Linien zur Balmer-Serie gehören, kann die Formel:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad \text{mit } Z=1 \text{ und } n_f=2$$

folgendermaßen umgeformt werden:

$$\frac{1}{\lambda} = -\frac{R_H}{n_i^2} + \frac{R_H}{4}$$

Diese Gleichung kann als Geradengleichung interpretiert werden, $-R_H$ entspricht der Steigung und $R_H/4$ dem y-Achsenabschnitt. Für unsere ermittelten Wellenlängen der Spektrallinien $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta, H_\epsilon$ ergeben sich für n_i folgende Werte $n_i = 3, 4, 5, 6$ und 7 .



Aus der Steigung der Regressionsgerade (gebildet durch die Minimierung des vorzeichengerechten Fehlers für eine Gerade: $y = -mx + m/4$) durch unsere 5 Wertepaare der Balmer-Serie ergibt sich für die Rydberg-Konstante:

$$R_H = 1,1007 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

In der Literatur wird die Rydberg-Konstante angegeben mit:

$$R_H = 1,096 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Emissionsspektrum der Leuchtstofflampe

Das gemessene Spektrum der Leuchtstofflampe ist im Anhang dargestellt. Es wurde mit der Nachweißempfindlichkeit gewichtet und mit Origin logarithmisch dargestellt.

Die charakteristischen Spektrallinien der in der Leuchtstofflampe enthaltenen Stoffe sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Vermutung	Messwert in nm	Stoff 1	bei nm	Stoff 2	bei nm	Stoff 3	Bei nm
Ar	378	Ar++	378				
Ar	416	Ar+	416,4				
Xe	448	Xe++	448				
Ne	496	Ne+	495,7	Ar++	496,5		
N	556	N+	556				
F	624	F+	623,9	Ar++	624,3		
F	720	F+	720,2	Ca+	720,2		
F	822	F+	823				
Ar	855	Ar+	852,1	Ti+	854,8	Si+	855,7
Ne	884	Ne+	885,3	Xe+	886,2	Mg++	853,5
Mg	925	Mg++	924,4				
Ag	977	Ag+	978,4				
Kr	1026	Kr++	1022,1				
Xe	1104	Xe+	1108,5	K+	1102,3		
Cl	1141	Cl+	1140,9				
Ar	1234	Ag+	1243,9	Kr+	1220,4		

Die Lampe enthält neben verschiedene Edelgase, einen hohen Anteil an Fluor. Auffallend ist, dass die Messwerte ab ca. 1000 nm eine starke Abweichung aufweisen.

Diskussion und Fehlerrechnung

Der Versuch Spektroskopie und Balmer-Serie hat die Zusammenhänge der Quantisierung von Photonen auf anschauliche Weise näher gebracht. Darüber hinaus wurde deutlich, wie mittels eines PCs diverse Messinstrumente angesteuert werden können. Hierdurch wurde die Versuchsdurchführung erheblich erleichtert. Nach Eingabe der Versuchsparameter in den PC konnte die automatisierte Datenerfassung gestartet werden.

Mit den Spektrallinien des Wasserstoffatoms konnte die Rydberg-Konstante gut bestimmt werden.

Aufgrund der vielen Messinstrumente, die für diesen Versuch notwendig sind, fließen in die Auswertung viele Faktoren ein, die die Genauigkeit des Ergebnisses beeinflussen können. Dennoch konnten wir mit der Versuchsanordnung die Rydberg-Konstante mit einem Fehler von ca. 0,3% bestimmen, d. h. unserer Messwert liegt innerhalb von 2 Standardabweichungen.

Die Genauigkeit der Messung hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Die optische Ausleuchtung des Gitters
- Das Auflösungsvermögen des Monochromators bzw. des Gitters
- Beugungsmaxima höherer Ordnung von niedrigeren Wellenlängen können in die Messung öfters eingehen
- Zu frühes Einsetzen des Ultraviolettfilters bei der Wasserstofflampe und der daraus folgenden Minderung der Intensität für die Messwerte mit niedriger Wellenlänge

Der Fehler für die experimentelle Bestimmung der Rydberg-Konstante ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$\Delta R_H = \pm \frac{1}{\lambda^2 \cdot \left(-\frac{1}{n_i^2} + \frac{1}{4} \right)} \cdot \Delta \lambda = \pm \frac{1}{(408 \text{ nm})^2 \cdot \left(-\frac{1}{6^2} + \frac{1}{4} \right)} \cdot 1 \text{ nm} = \pm 2,704 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$$

Für die Rydberg-Konstante ergibt sich demnach:

$$R_H = (1,1007 \cdot 10^7 \pm 0,002704 \cdot 10^7) \text{ m}^{-1}$$