

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,  
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

---

**Versuch 21**  
**Balmerserie von Wasserstoff**

---

Praktikanten: Maximilian Kurjahn  
Lukas Hupe

E-Mail: m.kurjahn@stud.uni-goettingen.de  
lukas.hupe@stud.uni-goettingen.de

Betreuer: Sir Thomas Frankland

Testat:

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2. Theorie</b>	<b>3</b>
2.1. Gitterspektrometer . . . . .	3
2.2. Das Wasserstoffatom . . . . .	4
<b>3. Durchführung</b>	<b>4</b>
3.1. Justierung des Versuchsaufbaus . . . . .	5
3.2. Wasserstoff-Lampe . . . . .	5
<b>4. Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1. Vermessung der Balmerreihe . . . . .	6
4.2. Bestimmung der Rydbergkonstanten . . . . .	7
<b>5. Diskussion</b>	<b>7</b>
5.1. Kalibrierung des Aufbaus . . . . .	7
5.2. Güte der Messung . . . . .	7
<b>A. Literatur</b>	<b>8</b>

---

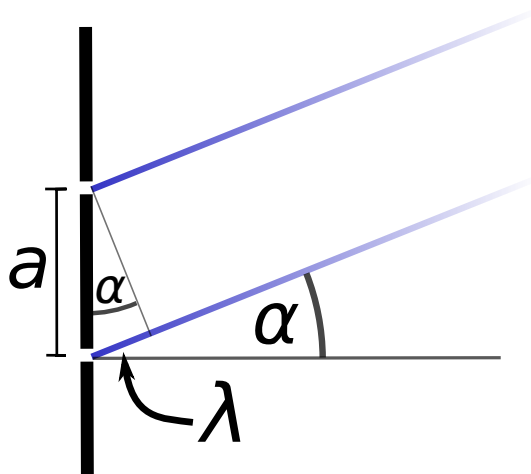
# 1. Einleitung

JOHANN JAKOB BALMER – ein Schweizer Physiker und Mathematiker – hat im Jahre 1885 [2, S.102] das Emissionsspektrum von atomarem Wasserstoff beobachtet und dabei einen Zusammenhang zwischen den einzelnen Wellenlängen gefunden.

In diesem Versuch wollen wir diese nach ihm benannte Balmer-Serie des Wasserstoffatoms untersuchen und die Wellenlänge der Spektrallinien bestimmen. Daraus kann eine Naturkonstante, die Rydberg-Konstante, ermittelt werden. Anhand des einfachsten Atoms – dem Wasserstoff – lassen sich so quantenmechanische Prinzipien erfahrbar und zugänglich machen.

## 2. Theorie

### 2.1. Gitterspektrometer



**Abbildung 2.1:** Zur Herleitung der Gitterkonstantenbestimmung mit Winkel  $\alpha$  des ersten Maximums, Wellenlänge  $\lambda$  und Gitterkonstante  $a$ .

Wenn Licht auf ein Gitter fällt, kommt es zur Interferenz. Für konstruktive Interferenz muss der Wegunterschied zwischen den einfallenden Lichtstrahlen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge sein [1, S.536]. Aus Abbildung 2.1 erhält man geometrisch für das erste Maximum die Beziehung

$$\sin(\alpha) = \frac{1}{a} \lambda \quad (2.1)$$

mit Winkel  $\alpha$  des ersten Maximums, Wellenlänge  $\lambda$  und Gitterkonstante  $a$ .

---

## 2.2. Das Wasserstoffatom

Wenn atomarer Wasserstoff in einen angeregten Zustand gebracht wird, dann emittiert er Photonen. Dieser atomare Wasserstoff hat ein ganz bestimmtes Emissionsspektrum im sichtbaren Bereich mit einigen charakteristischen Linien [2, S.102]. BALMER fand heraus, dass diese Linien einer bestimmten Gesetzmäßigkeit für natürliche Zahlen  $n$  folgten und fand heraus, dass

$$\lambda = C \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (2.2)$$

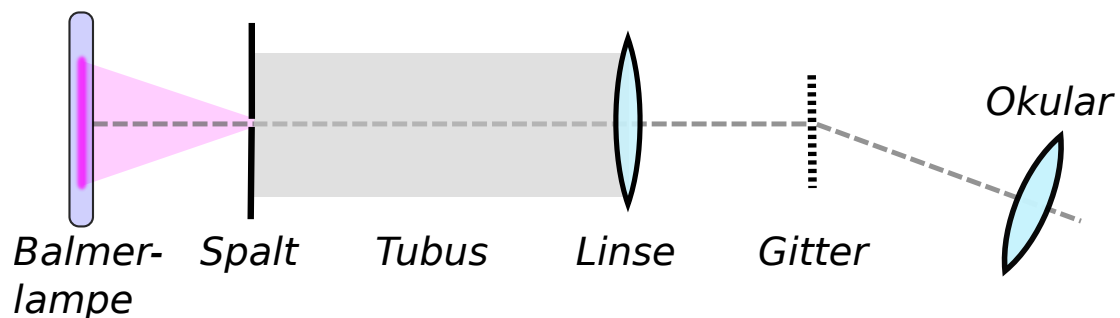
mit einer Konstanten  $C$ . Heute wird diese Gleichung etwas umgestellt und in einer anderen Form [2, S.102]

$$\frac{1}{\lambda} = R_{\infty} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2.3)$$

geschrieben. Der Theoriewert der Rydbergkonstante liegt heute bei [4, S.2]

$$R_{\infty} = (10973731.568508 \pm 0.000006) \text{ m}^{-1} \quad (2.4)$$

## 3. Durchführung



**Abbildung 3.1:** Schematischer Aufbau des Versuches. Abgebildet ist die Balmerlampe, der Spalt, der Tubus, die Linse, das Gitter und das Okular zum Beobachten des Interferenzmusters.

Das Spektrometer aus Versuch 16 wird mit einer Quecksilber-Cadmium-Lampe (Hg-Cd-Lampe) als Lichtquelle verwendet. Beobachtet wird das Experiment durch ein drehbares Okular, dessen Winkel zur optischen Achse an einer Skala abgelesen werden kann. Die Skala verfügt über einen in Bogenminuten angegebenen Nonius.

---

### 3.1. Justierung des Versuchsaufbaus

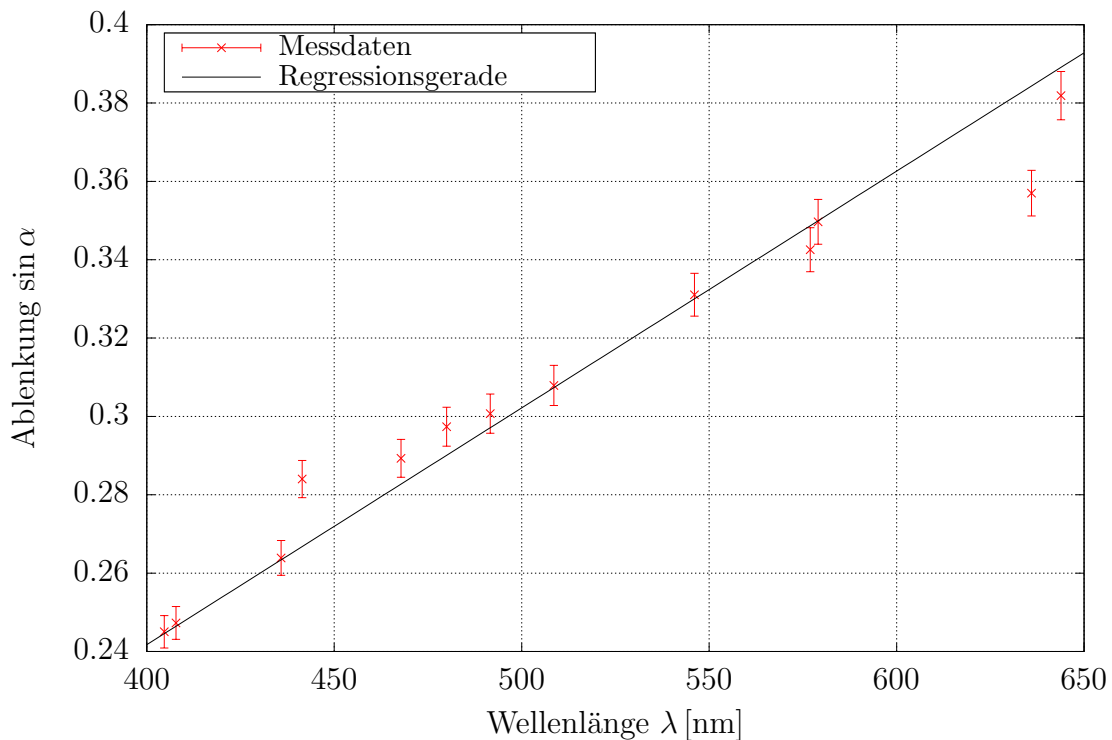
Das Bild des Spaltes wird bei geradem Strahlengang horizontal und vertikal relativ zum Fadenkreuz im Okular ausgerichtet und fokussiert. Es ist zu beachten, dass das Gitter senkrecht zur optischen Achse aufzustellen ist.

Für die Linien der verwendeten Hg-Cd-Lampe wird nun der Ablenkwinkel der ersten Ordnung bestimmt und Kommentare zur Farbe und Stärke der Linien notiert. Damit ist bei der Auswertung eine eindeutigere Zuordnung zu den gegebenen Wellenlängen möglich.

### 3.2. Wasserstoff-Lampe

Nun wird die Hg-Cd-Lampe durch die Balmerlampe ausgetauscht und die Ablenkwinkel aller sichtbaren Linien der ersten Ordnung gemessen und notiert.

## 4. Auswertung



**Abbildung 4.1:** Kalibrierung des Aufbaus: In rot aufgetragen die Sinūs der Ablenkwinkel über den zugehörigen Wellenlängen, in schwarz die Regressionsgerade.

Hier trägt man die Sinüs der gemessenen Ablenkwinkel  $\alpha$  über der der Linie nach [3] zuzuordnenden Wellenlänge  $\lambda$  auf (Abbildung 4.1). Durch lineare Regression (hier mit `gnuplot`) erhält man so eine Geradensteigung von

$$m = (604 \pm 6) \text{ mm}^{-1}$$

mit Fehler aus der Regression. Daraus kann nach (2.1) eine Gitterkonstante  $a$  bestimmt werden.

$$a = \frac{1}{m} = (1.66 \pm 0.02) \text{ }\mu\text{m}$$

Der Fehler  $\sigma_a$  der Gitterkonstante wird hier über Gaußsche Fehlerfortpflanzung bestimmt.

$$\sigma_a = a \cdot \left| \frac{\sigma_m}{m} \right|$$

#### 4.1. Vermessung der Balmerserie

Mit der oben bestimmten Gitterkonstante erhält man über Formel (2.1) für die gemessenen Ablenkwinkel  $\alpha$  die entsprechende Wellenlänge  $\lambda$ . Die jeweiligen Werte sind mit den über Formel (2.3) theoretisch vorhergesagten Werten in Tabelle 4.1 eingetragen, die Fehler der Wellenlängen ergeben sich dabei nach Gauß zu

$$\sigma_\lambda = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + (\sigma_\alpha \cot(\alpha))^2}$$

wobei  $\sigma_\alpha$  der zu  $5'$  abgeschätzte Fehler des Winkels und  $\sigma_a$  der oben angegebene Fehler der Gitterkonstanten ist.

Winkel $\alpha$ [°]	Wellenlänge $\lambda$ [nm]	Quantenzahl $n$	$R_\infty$ [ $10^{-7} \text{ m}^{-1}$ ]
$14.23 \pm 0.09$	$408 \pm 6$	6	1.103
$15.17 \pm 0.09$	$434 \pm 6$	5	1.096
$17.08 \pm 0.09$	$488 \pm 7$	4	1.094
$18.67 \pm 0.09$	$531 \pm 7$	?	
$19.08 \pm 0.09$	$543 \pm 7$	?	
$21.68 \pm 0.09$	$613 \pm 8$	?	
$23.23 \pm 0.09$	$655 \pm 9$	3	1.100

**Tabelle 4.1:** Gemessene Ablenkwinkel mit daraus berechneten Wellenlängen  $\lambda$  und den passenden Hauptquantenzahlen  $n$ . Die hier eingetragenen Ablenkwinkel sind gegenüber den im Messprotokoll eingetragenen Winkeln um  $180^\circ$  verschoben, da wir die Werte am falschen Skalenende abgelesen haben.

---

Messwert [nm]	Theoriewert [nm]
$408 \pm 6$	410
$434 \pm 6$	434
$488 \pm 7$	486
$655 \pm 9$	656

**Tabelle 5.1:** Gemessene Wellenlängen gegenübergestellt den theoretisch über Gleichung (2.3) bestimmten.

## 4.2. Bestimmung der Rydbergkonstanten

Die Rydbergkonstante erhält man durch Umstellen von (2.3) zu

$$R_{\infty} = \frac{1}{\lambda \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n} \right)}$$

Für die einzelnen Messpunkte sind die berechneten Konstanten in Tabelle 4.1 eingetragen, der Bestwert mit Standardabweichung beträgt

$$\overline{R_{\infty}} = (1.098 \pm 0.004) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

## 5. Diskussion

### 5.1. Kalibrierung des Aufbaus

Hier lässt sich nur wiederholen, was letztes Semester an selber Stelle geschrieben wurde: Die Tabelle der Wellenlängen der Hg-Cd-Lampe in [3] ist unvollständig und teilweise nicht mit dem tatsächlichen Spektrum in Verbindung zu bringen.

In diesem Protokoll mussten in der Auswertung zwei Linien ignoriert werden, da keine entsprechende Wellenlänge im Handbuch eingetragen war; zwei andere, im Handbuch eingetragene Linien wurden nicht gemessen.

### 5.2. Güte der Messung

Die Messung kann allgemein als sehr erfolgreich betrachtet werden - die am Versuchsplatz angegebene Gitterdichte von  $600 \text{ mm}^{-1}$  liegt genau im  $1\sigma$ -Intervall des über den linearen Fit bestimmten Wertes von  $(604 \pm 6) \text{ mm}^{-1}$ , entsprechend gut passen die theoretisch vorhergesagten Wellenlängen der Balmerreihe zu den Messwerten (Tabelle 5.1). Auch sie liegen im  $1\sigma$ -Bereich.

---

**Nicht zuzuordnende Linien** Sowohl bei der Kalibrierungsmessung als auch bei der Vermessung der Balmerreihe konnten einige Spektrallinien nicht zugeordnet werden (siehe oben). Diese könnten durch Verunreinigung der Gasproben oder ähnliche Effekte im Aufbau entstanden sein.

## A. Literatur

- [1] Dieter Meschede (Hrsg.), *Gerthsen Physik*, Springer Berlin Heidelberg, 25. Auflage, 2015
- [2] Hermann Haken, Hans Christoph Wolf, *Atom- und Quantenphysik*, Springer Berlin Heidelberg New York, 8. Auflage, 2004
- [3] Jörn Große-Knetter, Peter Schaaf, *Das Physikalische Praktikum 2016/2017 – Band II*, Universitätsverlag Göttingen, 2016
- [4] Mohr, P. J., Newell, D. B., & Taylor, B. N. (04.08.2015), *CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014*, Zenodo, <http://doi.org/10.5281/zenodo.22826>

