

Spektrometer

Protokoll zum Versuch Nummer O3 vom 8. Juni 2015

Frederik Edens, Dennis Eckermann

Gruppe 6mo

f_eden01@uni-muenster.de

dennis.eckermann@gmx.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Funktionsweise von Spektrometern	1
1.1.1. Prismenspektrometer	1
1.1.2. Gitterspektrometer	1
1.2. Lichtspektren	2
1.2.1. Gasentladung	2
1.2.2. Glut	2
1.3. Leuchtdioden	3
2. Auswertung	4
2.1. Untersuchung der Natriumdampfampe mit Prismenspektrometer	4
2.2. Quantitative Untersuchung verschiedener Spektren am Gitterspektrometer	4
2.2.1. Kalibrierung des Spektrometers	4
3. Diskussion	6
A. Anhang	7
A.1. Fehlerrechnung	7
A.1.1. Brechungsindex	7
A.1.2. Gitterkonstante	7

1. Einleitung

In dieser Versuchsreihe werden die Frequenzaufspaltungen von sichtbarem Licht aus verschiedenen Quellen untersucht.

1.1. Funktionsweise von Spektrometern

Das Konzept aller Spektrometer ist Licht abhängig von der Wellenlänge verschieden abzulenken. Der Unterschied zwischen verschiedenen Spektrometern ist die Realisierung der Ablenkung. Abhängig davon ergeben sich verschiedene Wellenlängen-Winkel-Beziehungen. Im Versuch wurden zur Ablenkung Brechung am Prisma und Beugung am Gitter verwendet. Um die Auflösung zu verbessern wird das einfallende Licht kollimiert und durch einen Spalt fokussiert. Um die Ablenkung genauer zu messen wird ein Fernrohr verwendet.

1.1.1. Prismenspektrometer

In diesem Spektrometer wird die Brechung am Prisma genutzt. Da der Brechungsindex für Licht mit kürzerer Wellenlänge zunimmt wird blaues Licht stärker gebrochen als rotes Licht. Es entsteht somit eine Frequenzaufspaltung, bei der außen Licht mit geringster Wellenlänge und höchster Frequenz zu sehen ist, während innen Licht mit zunehmend größerer Wellenlänge und geringerer Frequenz zu sehen ist.

1.1.2. Gitterspektrometer

Bei der Beugung am Gitter treten die Beugungsmaxima Wellenlängenabhängig auf. Es lässt sich zwischen Winkel des Maxima ϑ , Wellenlänge des Lichts λ , Gitterkonstante des verwendeten Gitters g und Ordnung des Maxima m der folgende Zusammenhang herleiten:

$$\lambda = \frac{g \sin \vartheta_m}{m} \quad (1.1)$$

Mit einem Gitterspektrometer sind nicht beliebig kleine Wellenlängenauflösungen möglich. Das Rayleigh-Kriterium besagt, dass eine Unterscheidung gerade noch möglich ist, falls das Maximum der einen mit dem Minimum der anderen Wellenlänge zusammenfällt. Daraus folgt für den minimalen Wellenlängenunterschied $\Delta\lambda$ bei mittlerer Wellenlänge

λ , Anzahl der beleuchteten Gitterspalte N und Ordnung m der Zusammenhang

$$\Delta\lambda \geq \frac{\lambda}{mN} \quad (1.2)$$

1.2. Lichtspektren

Abhängig von der Lichtquelle entstehen verschiedene Lichtspektren. Im allgemeinen wird unterschieden zwischen diskreten und kontinuierlichen Spektren. In kontinuierlichen Spektren treten alle Wellenlängen eines Wellenlängenbereiches auf. Bei diskreten Spektren treten dagegen nur einzelne Frequenzen auf. Im Spektrometer äußert sich dies in einem Linienspektrum. Es sind scharf abgegrenzte, helle Linien zu erkennen, während der Bereich dazwischen dunkel bleibt. Innerhalb eines kontinuierlichen Spektrums sind dagegen kontinuierliche Farbverläufe zu erkennen.

1.2.1. Gasentladung

Bei Lichterzeugung durch Gasentladung entstehen diskrete Spektren. Die Elektronen in der Schale der Gasatome können nur auf diskreten Bahnen angeregt werden. Daher kann nur Licht mit diskreten Energiewerten ΔE ausgesendet werden. Da sich die Wellenlängen λ direkt aus der Energie ergeben sind auch diese diskret verteilt. Es gilt

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.3)$$

hc ist das Produkt aus Plankschen Wirkungsquantor h und Vakuumlichtgeschwindigkeit c .

1.2.2. Glut

Erhitzte Körper geben ein kontinuierliches Strahlenspektrum ab. Ab Temperaturen von etwa 600 °C verschiebt sich das Spektrum in den Bereich des sichtbaren Lichtes. Mit zunehmender Temperatur wird der Anteil von kurzwelligem Licht geringer. Lichtquellen, bei denen das Licht durch diesen Effekt erzeugt wird sind unter Anderem Glühlampen und die Sonne. Jedoch entspricht das Spektrum der Sonne nicht vollständig dem kontinuierlichen Modell. Analog zur Emission bei Gasentladung kommt es durch Atome im äußeren Bereich der Sonne zu Absorption derselben Frequenzen. Somit sind im Sonnenspektrum schwarze Linien erkennbar. Diese werden als Fraunhoferlinien bezeichnet.

1.3. Leuchtdioden

Beim pn -Übergang in Dioden müssen Elektronen das elektrische Potential der Raumladungszone überwinden. Dabei erhält die Diode die Energie $E_G = U \cdot e$. Diese wird in Form eines Lichtquants abgegeben. Analog zur Gasentladung gilt

$$E_G = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.4)$$

Da die Energie der freien Elektronen keine diskreten Werte annimmt kommt es zu einem kontinuierlichen Strahlenspektrum in einem kleinen Wellenlängenbereich. Von Leuchtdioden ausgesandtes Licht ist nahezu monochromatisch.

2. Auswertung

2.1. Untersuchung der Natriumdampflampe mit Prismenspektrometer

2.2. Quantitative Untersuchung verschiedener Spektren am Gitterspektrometer

Im zweiten Versuchsteil werden die Lichtspektren verschiedener Lichtquellen an einem Gitterspektrometer untersucht. Im Spektrometer wird ein Gitter mit der Gitterkonstante $g = \frac{1}{600}$ mm verwendet. Die verwendeten Lichtquellen sind

- Natriumdampflampe
- Energiesparlampe
- Leuchtdioden in den Farben
 - rot
 - gelb
 - grün
 - blau

2.2.1. Kalibrierung des Spektrometers

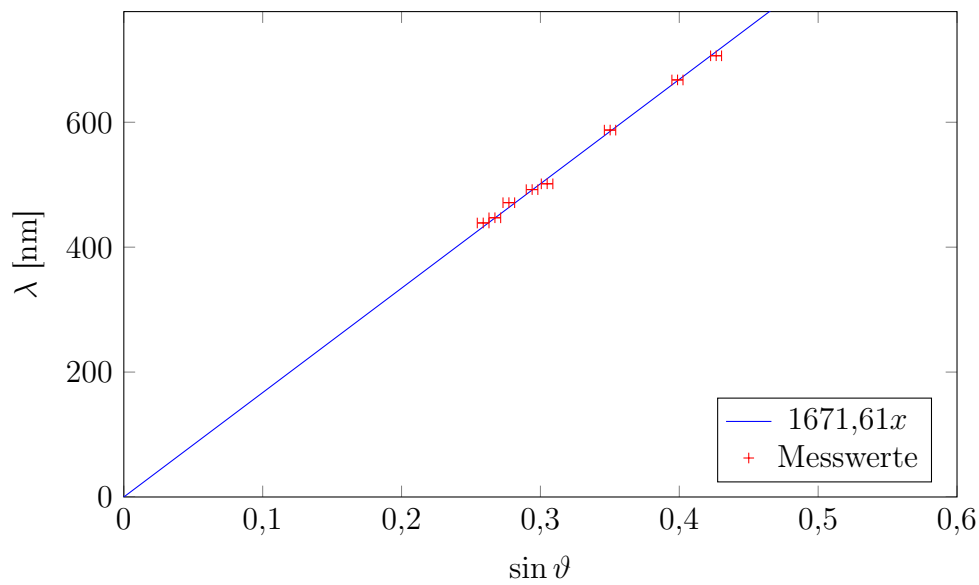
Um das Spektrometer zu kalibrieren wird zunächst das Licht einer Heliumdampflampe untersucht. Da aus der Versuchsanleitung [1] die Wellenlängenaufspaltung bekannt ist, lässt sich damit ein Zusammenhang zwischen Beugungswinkel und Wellenlänge aufstellen. Die von uns gesehenen Spektrallinien sind in Tabelle 1 zu finden.

Farbe	Wellenlänge	Beugungswinkel ϑ [rad]	$\sin \vartheta$
-------	-------------	----------------------------------	------------------

Tabelle 1 – Spektrallinien im Spektrometer

Aus dem in der Theorie gegebenen Zusammenhang (1.1) wird $\sin \vartheta \propto \lambda$ erwartet. Daher wird die Formel

$$\lambda = a \cdot \sin \vartheta$$

**Abbildung 1** – Eichkurve

aufgestellt. Der Proportionalitätsfaktor a wird dabei mithilfe von *Gnuplot*¹ nach dem *Least-Squares-Fit* verfahren bestimmt. Grafisch dargestellt ist dies in Abbildung 1. Der so bestimmte Proportionalitätsfaktor beträgt $a = (1672 \pm 6) \text{ nm}$

¹Version 4.6 patchlevel 4 unter Linux x86_64 <http://sourceforge.net/projects/gnuplot/files/gnuplot/4.6.4/>

3. Diskussion

A. Anhang

A.1. Fehlerrechnung

Fehler von rein proportional oder antiproportionalen Zusammenhängen lassen sich durch die Fortpflanzung der relativen Fehler berechnen.

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(y \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)^2} = |y| \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta x_i}{x_i} \right)^2} \quad (\text{A.1})$$

A.1.1. Brechungsindex

Aus der gaußschen Fehlerfortpflanzung folgt für (??)

$$\Delta n = \sqrt{\left(\frac{\cos \vartheta_1}{\sin \vartheta_2} \Delta \vartheta_1 \right)^2 + \left(\frac{\cos \vartheta_2 \sin \vartheta_1}{\sin^2 \vartheta_2} \Delta \vartheta_2 \right)^2} \quad (\text{A.2})$$

A.1.2. Gitterkonstante

Aus (??) folgt mit der gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta \frac{d}{n} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{2 \sin \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\lambda \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} \Delta \alpha \right)^2} \quad (\text{A.3})$$

Literatur

- [1] Markus Donath und Anke Schmidt, Hrsg. *Anleitung zu den Experimentellen Übungen zur Optik, Wärmelehre und Atomphysik*. Auflage 2015. Stand 10. April 2015. Physikalisches Institut, 2015.