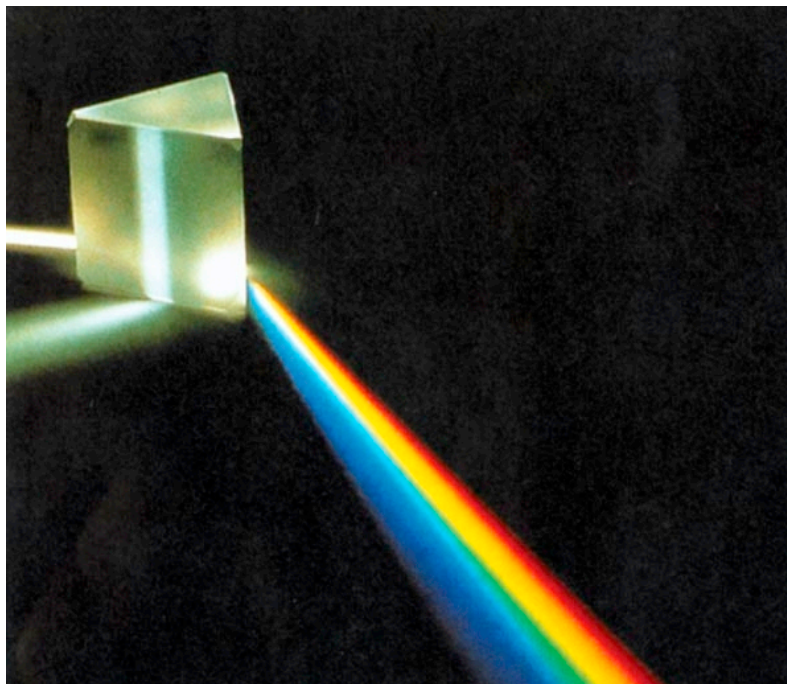


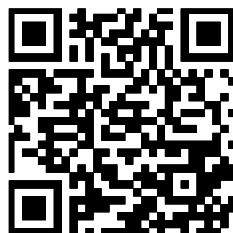
# Physikalisches Grundpraktikum für Physiker/innen

## Teil II

### Emission von Licht (Spektralanalyse)



Grundpraktikum Physik: <http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/>



## Ziel des Versuchs

Innerhalb dieses Versuchs soll mit einfachen Mitteln die Emissionsspektren verschiedener Atome und Moleküle quantitativ untersucht werden. Dabei kommen sowohl auf Prismen als auch auf Gittern basierende Spektrometer zum Einsatz. Die theoretische Grundlage bildet das Bohrsche Atommodell, welches trotz seines klassischen Ursprungs eine gute Vorhersage der Spektren des Wasserstoffatoms liefert.

### 1. Fragen

1. Was ist ein Spektrum? Wie kommt es zustande? Wodurch unterscheiden sich die Spektren einer Glühlampe, einer Na-Dampf-Lampe und eines Lasers?
2. Warum widerspricht das Rutherford'sche Atommodell der klassischen Elektrodynamik? Wie löste Bohr das Problem in seinem Atommodell? Welches Atommodell wird heute in der Regel angewandt?
3. Welcher Zustand des Wasserstoffatoms ist energetisch höher? Geben Sie eine physikalische Begründung an.
  - a. Kern und Elektron getrennt,
  - b. Elektron in stationärem Zustand in Kernnähe.
4. Welche physikalische Bedeutung haben Haupt-, Neben- und magnetische Quantenzahl ( $n$ ,  $l$ ,  $m$ )? Nennen Sie die physikalischen Größen, deren Quantisierung sie beschreiben. Welche Quantenzahl ist für die innerhalb dieses Versuchs beobachteten Spektren relevant?
5. Was versteht man unter den Begriffen Rydberg-Formel, Serie, Seriengrenze und Ionisation? Welche Serien gibt es im Wasserstoff-Atom? Was besagt das Bohrsche Korrespondenzprinzip?
6. Skizzieren Sie den Aufbau und die Wirkungsweise eines Prismen-Spektralapparates und eines Gitter-Spektralapparates. Wodurch ist das Auflösungsvermögen dieser Spektralapparate bestimmt?
7. Was sind die Natrium-D-Linien? Wie kommen Sie zustande?
8. Machen Sie sich mit der Datenbank <http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm> für Spektrallinien vertraut.

### 2. Einführende Literatur

- W. Demtröder, *Experimentalphysik 3 - Atome, Moleküle und Festkörper* 4. Auflage (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010)  
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-03911-9>
- I.V. Hertel, C.-P. Schulz, *Atome, Moleküle und optische Physik 1* (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2008)  
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-662-46808-1>
- H. Haken, H.C. Wolf, *Atom- und Quantenphysik* (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2004)

### 3.1 Prismenspektrometer

Infolge der Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex  $n$  lässt sich mit Hilfe eines Prismas eine Wellenlängenanalyse des Lichtes durchführen. Hierbei ergibt sich der Ablenkungswinkel als Funktion des Brechungsindex sowie der geometrischen Form des Prismas. Die Fähigkeit, zwei Spektrallinien zu trennen, bezeichnet man als Auflösungsvermögen  $A$ . Wenn  $S$  die wirksame Basislänge eines Prismas ist, dann ist  $A$  bestimmt durch:

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = S \frac{dn}{d\lambda} \quad (1)$$

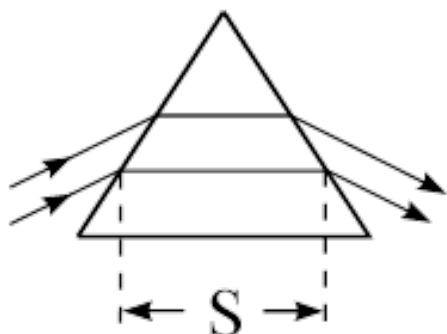


Abb. 1: Lichtweg in einem symmetrischen Prisma.

$\Delta\lambda$  ist der Abstand der beiden Linien, die gerade noch getrennt erscheinen,  $dn/d\lambda$  die Dispersion des Prismenmaterials. Der im Versuch genutzte Spektrograph besitzt ein Prisma konstanter Ablenkung nach Abbe (Abb. 2). Man kann es sich zusammengesetzt denken aus zwei  $30^\circ$ -Prismen, die mit einem  $90^\circ$ -Prisma kombiniert sind. Die Ablenkungen - nicht die Dispersion - der  $30^\circ$ -Prismen heben einander auf. An der Fläche  $a-b$  wird der Strahl totalreflektiert.

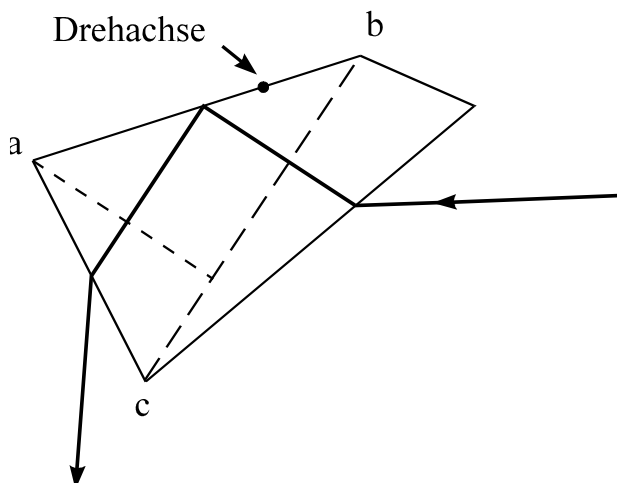


Abb. 2: Prisma konstanter Ablenkung nach Abbe.

Dieses Prisma gestattet den Bau eines Spektrometers mit konstanter Ablenkung des Lichtbündels um  $90^\circ$  zwischen Kollimator und Fernrohr. Unterschiedliche Wellenlängen werden einfach durch Drehung des Prismas mittels einer Stellschraube in das Gesichtsfeld des Fernrohrs gebracht.

### 3.2 Gitterspektrometer

Fällt paralleles, monochromatisches Licht (Wellenlänge  $\lambda$ ) senkrecht auf ein Strichgitter, so beobachtet man in der Brennebene einer Linse scharfe Intensitätsmaxima (Spektrallinien) unter Beugungswinkeln  $\alpha$ , die der Beziehung

$$d \sin \alpha = z\lambda \quad (2)$$

genügen. Dabei bedeuten  $d$  die Gitterkonstante und  $z$  die Ordnung des betreffenden Maximums. Wegen (2) ist bei festem  $d$  und  $z$  jeder Wellenlänge  $\lambda$  ein bestimmter Winkel  $\alpha$  zugeordnet, unter dem die dieser Wellenlänge entsprechende Spektrallinie erscheint. Enthält das Licht verschiedene Wellenlängen, so findet durch das Gitter eine Spektralzerlegung statt. Durch Ausmessen der Winkel  $\alpha$ , unter denen die Linien des Spektrums erscheinen, kann dann, bei bekanntem  $d$  und  $z$ , aus (2) die zugehörige Wellenlänge errechnet werden.

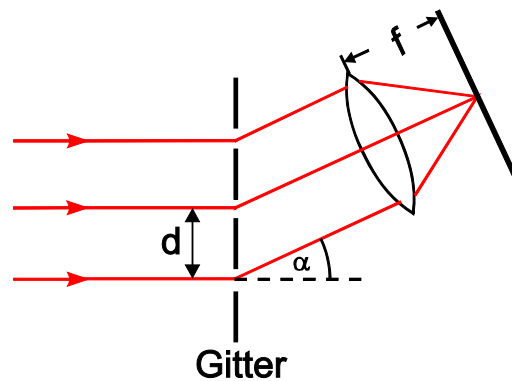


Abb. 3: Prinzip eines Gitterspektrometers.

Das Auflösungsvermögen eines Gitterspektrometers mit  $N$  beleuchteten Spalten und der Ordnung des Maximums  $z$  lautet:

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = Nz \quad (3)$$

## 4. Versuchsdurchführung

### Aufgabe 1: Eichung der Spektrometer

Zunächst wird das Spektrometer geeicht, das heißt der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Prismen- bzw. Gitterdrehung gesucht. Zur Eichung wird hier ein Hg-Spektrallampe benutzt, in deren Lampenkolben die Atome des Hg-Dampfes zur Aussendung seines charakteristischen Linienspektrums angeregt werden. Die Wellenlängen dieses Spektrums sind bekannt und am Arbeitsplatz angegeben. Durch Drehen des Prismas mittels einer Stellschraube können die einzelnen Spektrallinien, die mit einem Fernrohr beobachtet werden, über ein Fadenkreuz im Okular des Fernrohres geschoben werden. Die Eichung wird so durchgeführt, dass die Linien nacheinander ins Fadenkreuz gedreht werden, und die dazugehörige Prismenstellung an einer Skala abgelesen wird. Man erhält so einzelne Punkte, die sich durch eine Anpassung (Fit) zu einer Eichkurve verbinden lassen. Auch für das Gitterspektrometer muss diese Eichung durchgeführt werden. Machen Sie sich im Vorfeld Gedanken zur Wahl der Anpassungsfunktion.

**Aufgabe 2: Analyse von Spektren**

Mit Hilfe der Eichkurve lassen sich jetzt beliebige Spektren (deren Linien in diesen Eichbereich fallen) analysieren. Bestimmen Sie die Wellenlängen der Linienspektren der Elemente Na, He und Ne. Diese Linienspektren werden in Spektrallampen mit Na-, He- bzw. Ne-Füllung angeregt. Bestimmen Sie die Spektren dieser Lampen sowohl mit dem Gitter- als auch mit dem Prismenspektrometer.

**Aufgabe 3: Analyse von Wasserstoffspektren**

Im letzten Teil des Versuchs wird eine sogenannte Geißleröhre (gefüllt mit  $H_2$ ) benutzt. Sie sendet neben den charakteristischen Linienspektren des H-Atoms auch das Molekülspektrum des  $H_2$ -Moleküls aus, welches dem Atomspektrum überlagert ist und die Identifizierung des letzteren etwas erschwert.

**Zur Auswertung**

1. Erstellen Sie Eichkurven für Gitter- und Prismenspektrometer durch eine physikalisch sinnvolle Anpassung der gemessenen Linien der Hg-Dampfampe.
2. Ordnen Sie anhand der Datenbank-Einträge (<http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>) alle gemessenen Linien einem Übergang im jeweiligen Atom/Molekül zu. Beachten Sie dabei, dass die Datenbank auch die relative Intensität der Spektrallinien angibt. In diesem Versuch können nur die hellsten Linien gemessen werden. Geben Sie den relativen Fehler zu jeder Linie an.