

Die Balmer Serie – sichtbarer Fingerabdruck des Wasserstoffatoms

Matthias Borchardt, Bonn

Sichtbar und eindeutig identifizierbar wird das Wasserstoffatom durch die Spektrallinien der Balmer Serie. Im Physikunterricht lässt sich dies in vielfältiger Weise nutzen, wie die Materialien dieses Beitrags zeigen. So werten Ihre Schüler reale oder computergenerierte Wasserstoffspektren aus. Sie lesen in der Originalarbeit von Johann Jakob Balmer und verifizieren seine Formel mithilfe eigener Auswertungen. Dabei erkennen sie, dass Balmers rein empirisch gefundene Formel mit der von Bohr theoretisch hergeleiteten übereinstimmt. Die Lernenden finden die Balmerlinien als Absorptionslinien im Sonnenspektrum wieder und rechnen mit den extrem rotverschobenen Balmerlinien im Spektrum des Quasars 3C273.



Johann Jakob Balmer (1825–1898) und Niels Bohr (1885–1962)

Quelle: Wikimedia Commons

II/F

Das sichtbare Wasserstoffspektrum als spannender Einstieg in die Atomphysik!

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 11/12

Dauer: 3–8 Stunden

Ihr Plus

- ✓ Verwendung von Computersimulationen
- ✓ Historischer Zugang zur Formel (Auszug aus der Originalarbeit von Balmer)
- ✓ Bezug zur Astrophysik

Inhalt

- Schulversuch zum Wasserstoffspektrum
- Computergeneriertes Spektrum
- Induktive und deduktive Methode zur Ermittlung der Balmerformel
- Fraunhoferlinien
- Emissionsspektrum eines Quasars
- Entfernungsbestimmung mithilfe des Hubble-Gesetzes

Materialübersicht

- ⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 ⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch Fo = Folie Cs = Computersimulation

M 1 Spektrale Zerlegung von Licht – frischen Sie Ihr Wissen auf!**M 2 Ab, SV Die Balmer Serie im Schulversuch**

- ⌚ V: 5 min Vorbereiteter Versuchsaufbau (siehe Abb. S. 15)
 ⌚ D: 40 min Balmer-Lampe
 Gitter
 Lineal
 Taschenrechner

M 3 Ab, Cs Die Balmer Serie in der Computersimulation

- ⌚ V: 5 min Simulationsprogramm: „Witnerspekt.exe“
 ⌚ D: 40 min Taschenrechner

M 4 Ab Die Zahlenspielereien des Johann Jakob Balmer

- ⌚ V: 5 min Taschenrechner
 ⌚ D: 40 min

M 5 Lesetext Ausschnitt aus Balmers Veröffentlichung 1885**M 6 Ab Balmer und Bohr – Induktion und Deduktion einer Formel**

- ⌚ V: 5 min Internet
 ⌚ D: 45 min Physikbuch
 Taschenrechner

M 7 Ab, Cs Die Balmer Serie im Spektrum der Sonne

- ⌚ V: 5 min Computersimulation: „Sonnenspektrum.exe“
 ⌚ D: 40 min Taschenrechner

M 8 Ab Die Balmer Serie im Spektrum des Quasars 3C273

- ⌚ V: 5 min Taschenrechner
 ⌚ D: 40 min

M 9 Diagramme Stern oder Quasar? – Die Spektren entscheiden

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 15.

Minimalplan

Das Wiederholungsblatt **M 1** bearbeiten Ihre Schüler als Hausaufgabe. Beschränken Sie sich auf die Materialien **M 1–M 6**.

Hinweis zu CD-ROM

An digitalem Zusatzmaterial enthält die **CD-ROM 47** zwei **Computersimulationen**, ein ergänzendes **Wiederholungsblatt** und die Auswertung zu Material **M 7** (Excel-Datei).

M 1 Spektrale Zerlegung von Licht – frischen Sie Ihr Wissen auf!

Huygens'sches Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer Elementarwelle (Kreis-, Zylinder-, Kugelwelle) angesehen werden. Die Überlagerung von Elementarwellen erzeugt eine neue Wellenfront.

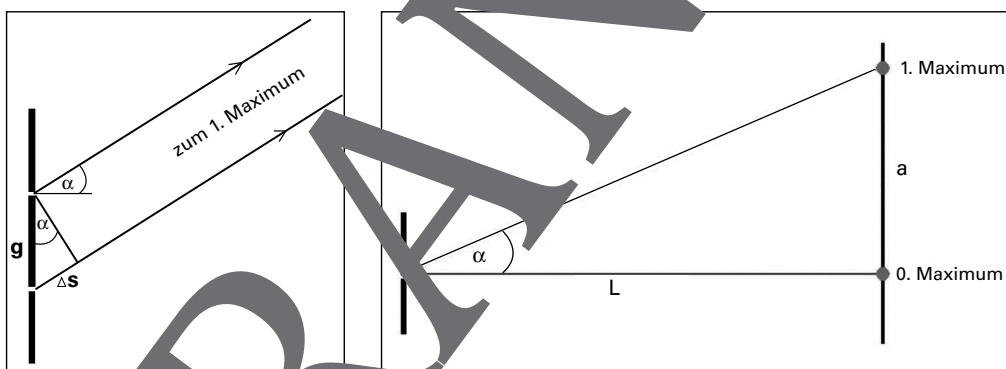
Beugung und Interferenz am optischen Gitter

Bei einem Transmissionsgitter liegen zahlreiche Spalte in gleichem Abstand nebeneinander. Trifft Licht auf die Gitterstruktur, entstehen an den Spaltöffnungen entsprechend dem Huygens'schen Prinzip Elementarwellen, die sich im Raum hinter dem Gitter überlagern können und auf einem Beobachtungsschirm typische Interferenzmuster ausbilden. Da die Lage der Interferenzmaxima auf dem Schirm von der Wellenlänge des Lichts abhängt, lässt sich mit einem optischen Gitter das Licht spektral zerlegen. Die Lage der Interferenzmaxima ergibt sich aus den folgenden Überlegungen:

Aus der lokalen Betrachtung am Doppelspalt, bzw. am Gitter ergibt sich mithilfe der Abbildungen: $\sin(\alpha) = \frac{\Delta s}{g}$. Dabei ist g der Spaltabstand bzw. die Gitterkonstante und Δs der Gangunterschied zwischen den betrachteten Elementarwellen. Für ein Maximum erster Ordnung folgt mit $\Delta s = \lambda$ dann $\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{g} \Leftrightarrow \lambda = g \cdot \sin(\alpha)$.

Die Gesamtansicht der Anordnung liefert die Beziehung: $\tan(\alpha) = \frac{a}{L} \Rightarrow \alpha = \arctan\left(\frac{a}{L}\right)$.

Zusammengefasst ergibt sich dann: $\lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a}{L}\right)\right)$.



Die Verwendung der oben genannten Näherungsformel $\lambda \approx \frac{a \cdot g}{L}$ bietet sich dann an, wenn das erste Maximum unter einem kleinen Winkel (kleiner als 5°) erscheint. Aufgrund der hohen Spaltdichte ist die Gitterkonstante bei dem im Versuch verwendeten Gitter sehr klein und der Winkel entsprechend groß, sodass es ratsam ist, dann die exakte Formel zu verwenden.

Rotverschiebung von Spektrallinien

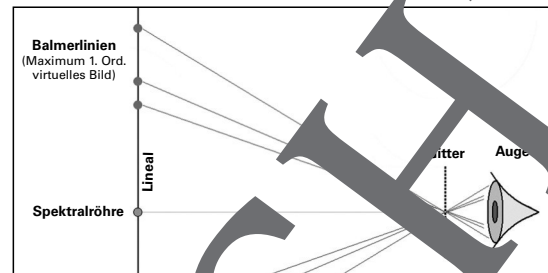
Spektrallinien sind in einem **Emissions-** oder **Absorptionsspektrum** an ganz bestimmten Stellen zu finden. Es kann aber passieren, dass sämtliche Spektrallinien eines Spektrums in den langwelligeren Bereich verschoben sind – man spricht dann von einer **Rotverschiebung**. Ursachen dieses Effekts können der **Dopplereffekt** oder die Expansion des Weltalls sein. Eine Rotverschiebung durch den Dopplereffekt tritt auf, wenn sich eine Lichtquelle vom Beobachter wegbewegt. Dieses Phänomen finden wir oft in Spektren von Sternen und Galaxien, die sich in unserer näheren kosmischen Umgebung befinden. Bei sehr weit entfernten Objekten macht sich jedoch die **Expansion des Weltalls** deutlich bemerkbar. Die Vergrößerung der Raumzeit führt zu einer Dehnung der Lichtwellen und damit zu einer Rotverschiebung der Spektrallinien.

M 2 Die Balmerserie im Schulversuch

Die Linien H_α , H_β und H_γ

Mithilfe der bereits fertig aufgebauten Versuchsanordnung auf dem Rolltisch können Sie drei Linien des Wasserstoffspektrums sichtbar machen und deren Wellenlängen bestimmen. Es sind die Linien H_α , H_β und H_γ der sog. **Balmerserie**.

Die Skizze zeigt, wie der Versuch aufgebaut ist und wie er funktioniert.



Wenn Sie mit Ihrem Auge direkt durch das optische Gitter schauen, sehen Sie die virtuellen Bilder der dünnen, vertikal aufgestellten Gasentladungsröhre als Spektrallinien im Maximum erster Ordnung des Gitters. Die Position a der Linien können Sie an fest installierten Maßstab (Lineal) ablesen, der Abstand L zwischen Gitter und Lineal lässt sich ebenfalls einfach ausmessen.

Aufgaben

1. Erinnern Sie sich an die Inhalte der Wellenoptik. Aus dem Winkel α des ersten Maximums im Interferenzmuster ergibt sich eine Formel für die Wellenlänge des Lichts:

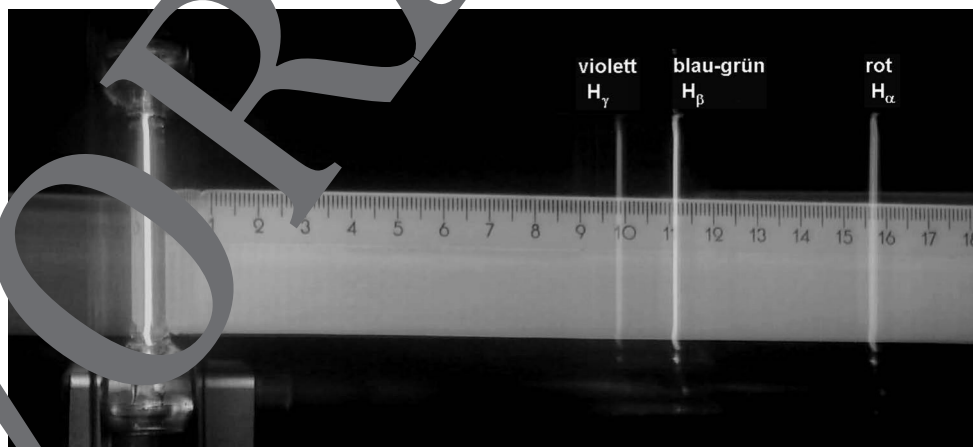
$$\lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a}{L}\right)\right).$$

Dabei bedeuten: g – Abstand der Spalten, a – Abstand des 1. Max. von der Symmetrieachse, L – Abstand des Gitters vom Messgerät (hier Lineal).

Führen Sie die Herleitung dieser Formel in Ihren Unterlagen noch einmal vor.

2. Bestimmen Sie nun im aufgebauten Versuch die Größen a und L und berechnen Sie mithilfe der bekannten Gitterkonstanten g die Wellenlängen der drei Balmerlinien.

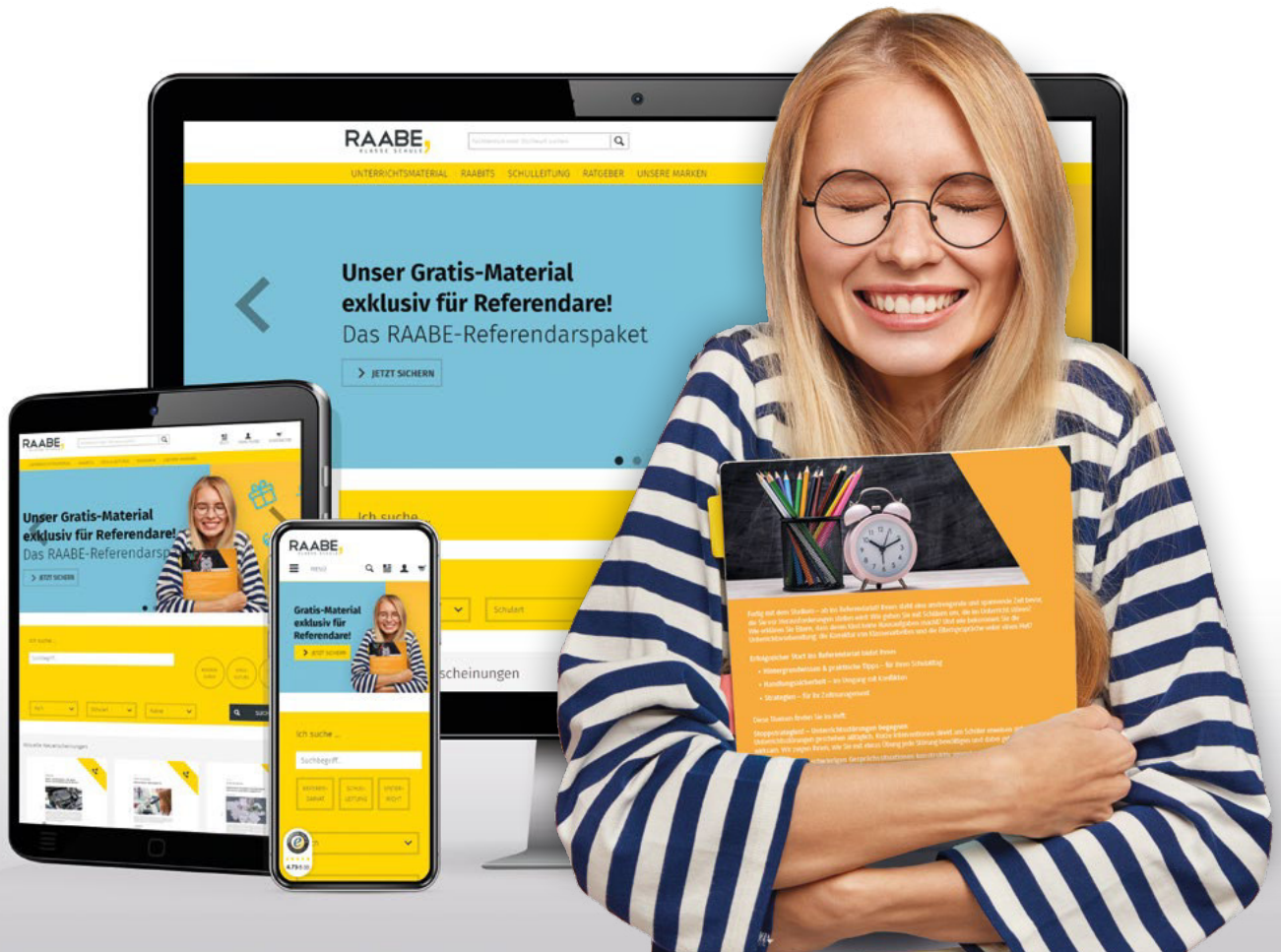
Sollte ein Versuchsaufbau aufgrund mangelnder Geräte nicht möglich sein, können Sie die folgenden Versuchsdaten sowie das Foto zur Auswertung heranziehen. Bei diesem Versuch hatte L den Wert 39 cm und das Gitter wies 570 Spalte pro Millimeter auf.



3. Recherchieren Sie, welche Wellenlängen für die H_α -, H_β - und H_γ -Linien des Wasserstoffspektrums in der Literatur angegeben werden, und bestimmen Sie die prozentuale Abweichung Ihrer Ergebnisse von den exakten Werten. Äußern Sie sich zu möglichen Fehlerquellen und schätzen Sie ihren Einfluss auf das Versuchsergebnis ab.

Sie wollen mehr für Ihr Fach?

Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



Über 4.000 Unterrichtseinheiten
sofort zum Download verfügbar



Sichere Zahlung per Rechnung,
PayPal & Kreditkarte



Exklusive Vorteile für Abonnent*innen

- 20% Rabatt auf alle Materialien für Ihr bereits abonniertes Fach
- 10% Rabatt auf weitere Grundwerke



Käuferschutz mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:
www.raabe.de