

Multimedien in der Physikausbildung

Zwei Lehrvideos zum „Absorptions- und Emissionsspektrum von Natrium“

Andreas Wagner, Stefan Altherr, Bodo Eckert, Hans Jörg Jodl

Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik
Erwin-Schrödinger-Straße, 67663 Kaiserslautern

Kurzfassung

In einem für die Physiklehre entwickelten Video werden das „Absorptions- und das Emissionsspektrum“ von Natriumdampf miteinander verglichen. Ein zweites Video zur „Wellenlängenbestimmung im Natriumspektrum“ zeigt darüber hinaus eine Möglichkeit, die Wellenlängen des Natrium-D-Dubletts durch Vergleich mit dem bekannten Emissionsspektrum von Quecksilberdampf zu bestimmen.

Die Entwicklung der Atommodelle seit Ende des 19. Jahrhunderts führte mit der Entwicklung der Quantenphysik zu einem Bruch mit der klassischen Physik. Zu den Experimenten, aus denen wichtige Aussagen zur *Energiequantelung der Atomhülle* abgeleitet werden können, gehört neben dem Frank-Hertz-Versuch ebenfalls die spektrale Untersuchung des von Atomen ausgesandten bzw. absorbierten Lichts. Daher spielen diese Versuche im Rahmen der *Entwicklung der Atommodelle* in der Universität und in der Schule eine zentrale Rolle [1].

Die wenigen Lehrvideos, die zum Themengebiet „*Linienspektren von Atomen*“ existieren, zeigen zwar die Emission und die Absorption von Licht [2], allerdings nur unabhängig voneinander. Die für die Atomphysik wichtige Beobachtung, dass zu jeder Resonanzabsorptionslinie auch eine Emissionslinie der gleichen Wellenlänge gehört, ist in den bisher gezeigten Experimenten nicht direkt sichtbar.

Ziel eines an der Universität Kaiserslautern entwickelten Videos „Absorptions- und Emissionsspektrum von Natrium“ ist es daher, den unmittelbaren Zusammenhang zwischen Absorption und Emission anhand des Linienspektrums von Natrium sichtbar zu machen.

In einem weiteren Video wird die Feinstruktur-Aufspaltung der Natrium-D-Linie durch Vergleich mit dem bekannten Emissionsspektrum von Quecksilberdampf quantitativ bestimmt.

Absorptions- und Emissionsspektrum von Natrium

Zu Beginn werden alle Komponenten des realen Versuchsaufbaus schrittweise vorgestellt und in ihrer Funktion erläutert (Abb. 1). Das Licht einer kontinuierlichen Lichtquelle wird durch eine Lin-

se kollimiert und als Parallelbündel durch eine Natrium-Absorptionszelle geschickt. Eine zweite Linse fokussiert das Strahlenbündel auf den Eintrittspalt eines Gitterspektrographen. Mit einer Kamera beobachtet man das Spektrum.

Bevor man das Absorptionsspektrum von Natrium überhaupt untersuchen kann, muss in der luftevakuierten Zelle Natrium verdampft werden. Dazu wird beim Videoexperiment die Temperatur in der Absorptionskammer langsam von Zimmertemperatur auf über 240 °C erhöht. Bis zu einer Temperatur von etwa 190 °C sieht man lediglich das kontinuierliche Spektrum der Glühlampe. Oberhalb dieses Grenzwertes nimmt die Intensität des Lichts zweier Wellenlängen im gelben Spektralbereich mit zunehmender Temperatur ab. Nachdem fast das gesamte Natrium in der Zelle verdampft ist, sind die beiden Absorptionslinien D_1 und D_2 deutlich zu erkennen (siehe obere Hälfte in Abb. 2).

Als Zwischenergebnis kann daher festgehalten werden:

Natriumatome absorbieren im sichtbaren Bereich nur Licht einer bestimmten Wellenlänge (bzw. Energie).

Hier wird ein Vorteil des Videos gegenüber dem herkömmlichen Lehrbuch offensichtlich. Das Video zeigt deutlich, dass die Intensitätsabnahme zweier „Linien“ im gelben Spektralbereich auf die Zunahme der Natriumgas-Konzentration in der Zelle zurückzuführen ist.

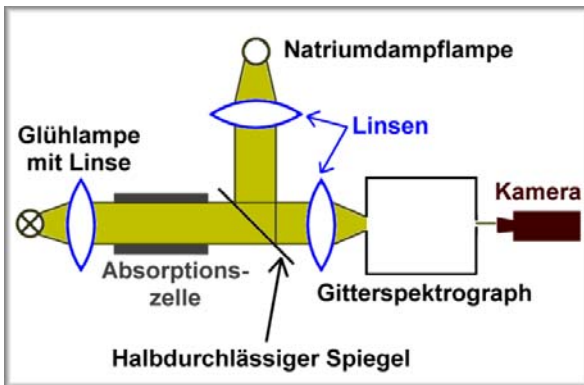


Abb. 1: Schematische Skizze zum Experiment „Absorptions- und Emissionsspektrum von Natrium“

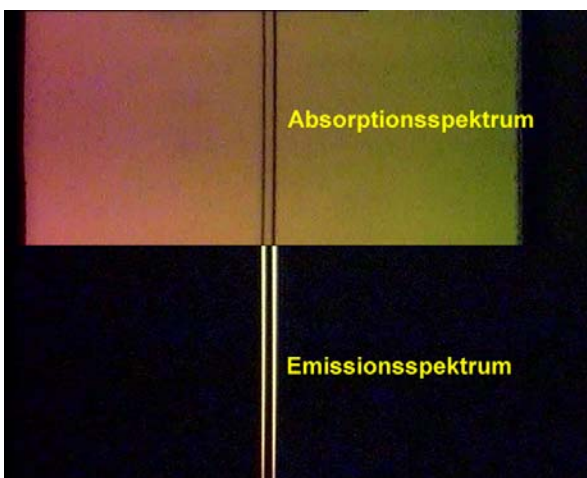


Abb. 2: Simultane Einblendung eines Ausschnittes von Absorptionsspektrum und Emissionsspektrum von Natriumdampf

Um zusätzlich das Emissionsspektrum zu beobachten, benötigt man eine Natriumdampfampe. Nachdem deren ausgesandtes Licht mit einer Linse kollimiert wurde, fokussiert man das entsprechende Lichtbündel hinter einem halbdurchlässigen Spiegel mit einer Linse ebenfalls auf den Eintrittsspalt des Gitterspektrographen (Abb. 1). Je nach Wunsch des Experimentators ist es nun möglich, durch „Zuhalten“ einer Lichtquelle, die Spektren separat zu betrachten oder beide Spektren gleichzeitig einzublenden. Für das Video wurden durch Nachbearbeitung beide separat aufgenommenen Spektren in ein Bild zusammengesetzt (Abb. 2).

Im Gegensatz zu Lehrbuch-Abbildungen ist aus der Videoabbildung sofort ersichtlich, dass zu jeder Resonanzabsorptionslinie auch eine Emissionslinie der gleichen Wellenlänge gehört und umgekehrt. Weitere Untersuchungen zu Emissions- und Resonanzabsorptionsspektren lassen schließlich den Schluss zu:

Jede Wellenlänge, die absorbiert wird, kann auch in Emission auftreten, wenn dem Atom vorher entsprechende Energie zugeführt wurde [3].

Wellenlängenbestimmung im Natriumspektrum

Wie man aus Abbildung 2 erkennt, ist das Linienspektrum von Natrium durch ein sogenanntes Dublett gekennzeichnet. Die Auflösung eines herkömmlichen Prismenspektrometers, wie es bei Demonstrationsexperimenten oft verwendet wird, reicht nicht aus, um die beiden Linien im Natriumspektrum getrennt zu sehen. Erst bei Verwendung eines hochauflösenden Gitterspektrographen ist es möglich, die *Feinstruktur-Aufspaltung* der Natrium-D-Linie in D₁- und D₂-Linie zu untersuchen.

Mit Hilfe des zweiten Videos *„Wellenlängenbestimmung im Natriumspektrum“* können die Wellenlängen der beiden "gelben" Spektrallinien bestimmt werden. Der Aufbau des gezeigten Versuches ergibt sich dabei aus dem vorherigen Experiment durch einen kleinen Umbau. Statt des Absorptionsspektrums von Natrium wird nun das Emissionsspektrum von Quecksilber eingeblendet (Abb. 3).

Man sieht sofort, dass sich Natrium und Quecksilber in ihren Linienspektren unterscheiden. Die Untersuchung weiterer Linienspektren lassen den Schluss zu:

Das Linienspektrum ist für die Atome eines chemischen Elementes charakteristisch und eindeutig.

Um die Wellenlängen der beiden Natriumlinien zu bestimmen, notiert man die bekannten Wellenlängen der beiden Quecksilberlinien (Abb. 4). Daraus ergibt sich beim Gitter für einen kleinen Wellenlängenbereich näherungsweise eine lineare Skala, an welcher die Wellenlängen abgelesen werden können: $\lambda(\text{Na-D}_1) \approx 589,6 \text{ nm}$ und $\lambda(\text{Na-D}_2) \approx 589,0 \text{ nm}$. Dies entspricht einer relativen Abweichung ($<0,002\%$) zu den Literaturdaten $589,593 \text{ nm}$ (D₁) und $588,996 \text{ nm}$ (D₂) [4]. Energetisch betrachtet hat die Feinstruktur-Aufspaltung damit einen Anteil von ungefähr $0,1\%$ relativ zur Energie des entsprechenden Übergangs.

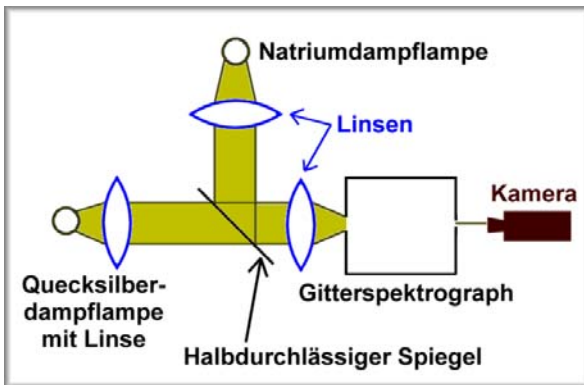


Abb. 3: Schematische Skizze des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Wellenlängen zweier Emissionslinien im Natriumspektrum

Darüber hinaus ist das Video aufgrund der deutlich erkennbaren Trennung zwischen D_1 - und D_2 -Linie geeignet, eine *Grenze des Bohrschen Atommodells* aufzuzeigen [5]. Die Feinstruktur-Aufspaltung bei Atomen mit mehreren Elektronen in der Hülle kann in diesem Modell nicht erklärt werden.

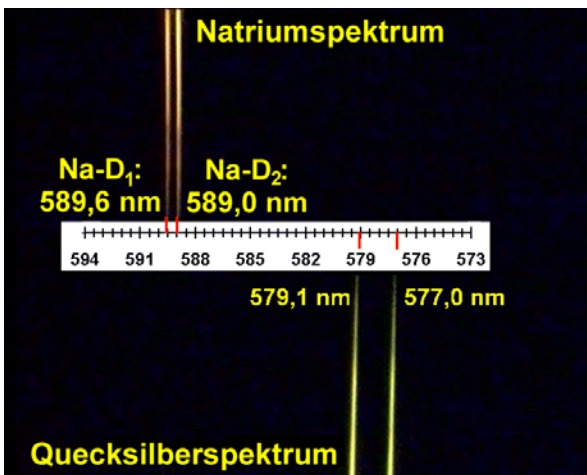


Abb. 4: Simultane Einblendung eines Ausschnittes von Natriumspektrum und Quecksilberspektrum

Die Videos können sowohl in einer Lehrveranstaltung als auch zum Selbststudium genutzt werden. Vor allem die *vielseitige Verwendung der Videos* kann das Unterrichten von Quantenphysik abwechslungsreicher machen. Dies betrifft im Besonderen

- den Nachweis der Energiequantelung der Atomhülle,
- den direkten Vergleich von Absorptions- und Emissionsspektrum,
- die Feinstruktur-Aufspaltung der Natrium-D-Linie als Grenze des Bohrschen Atommodells sowie
- die quantitative Bestimmung der Feinstruktur-Aufspaltung.

Weitere Informationen

Die Videos zum „Absorptions- und Emissionsspektrum von Natrium“ können in mittlerer Qualität kostenlos unter <http://pen.physik.uni-kl.de/videos.html> heruntergeladen. In höherer Auflösung können die Videos bei den Autoren auf CD-ROM gegen einen Unkostenbeitrag von 5 € erworben werden.

Literatur

- [1] Siehe Lehrpläne zur Sekundarstufe 2.
- [2] Ausgewählte Beispiele sind:
 - a) Higatsberger, M. J.: Physik in 700 Experimenten, „Hg-Linienspektrum (614. Experiment)“ und „Linienspektrum von Hg-Cd-Zn (615. Experiment)“. Nähere Informationen online im Internet: <http://mailbox.univie.ac.at/~higatsm4/higatsberger.html>
 - b) The Education Group: *The Video Encyclopedia – “Demo 25-01 Emission Spectra”* und *“Demo 25-02 Spectral Absorption by Sodium Vapor”*. Nähere Informationen online im Internet: <http://www.physicsdemos.com>
- [3] Demtröder, W.: *Experimentalphysik 3 - Atome, Moleküle und Festkörper*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1996, Seite 90.
- [4] Herzberg, G.: *Atomic spectra and atomic structure*. Zweite Auflage, New York: Dover Publications, 1972.
- [5] Grehn, J. (Hg.): *Metzler Physik*. Zweite durchgesehene Auflage, Stuttgart: J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, 1992, Abschnitt 10.1.