Linienspektren sind wie unverwechselbare Fingerabdrücke der Atome

TO&BKFH

CC BY NC SA
L: laborberufe.de

Schon seit einigen Jahrhunderten ist bekannt, dass Atome nach thermischer Anregung Licht aussenden können. Die Strahlung ist für das entsprechende Element charakteristisch. Mit ihrer Analyse beschäftigen sich Wissenschaften, die oberflächlich betrachtet, kaum unterschiedlicher sein könnten:

1. Die Atomphysik und Chemie bekommt durch die Analyse der Strahlung Einblicke in den inneren Bau der winzig kleinen Atome und Moleküle.

2. Die Astrophysik und Astronomie analysiert die Strahlung, die von riesigen Himmelskörpern stammt und in die Teleskopöffnungen gelangt. Damit können Erkenntnisse über die elementare Zusammensetzung weit entfernter Galaxien und Himmelkörper gewonnen werden. Die hohe Geschwindigkeit und Reichweite der Strahlung ermöglicht also eine ***Fernerkundung***, ohne dem untersuchten Objekt nahe zu sein.

Mit der Analyse solcher Strahlung befasst sich die **Spektroskopie.** Zuerst beschreiben wir einige Eigenschaften dieser Strahlung, zu der auch das *Licht* gehört.

1. Licht und Farbe

Die Energiepakete, die von einer Lichtquelle ausgestrahlt werden, gehören zu den **elektromagnetischen Strahlen**, auch bekannt als **elektromagnetische Wellen (EM-Wellen)**. Im Gegensatz zu Schallwellen benötigen EM-Wellen kein Medium, um sich fortzubewegen. Daher können sie sich auch über enorme Distanzen im Vakuum des Weltraums ausbreiten, in Lichtgeschwindigkeit.
Jede elektromagnetische Welle hat eine spezifische Energie, die von der **Frequenz** (ν, ausgesprochen: „nü“) abhängt. Diese Frequenz beschreibt die **Anzahl der Schwingungen** des „elektromagnetischen Feldes“ pro Zeiteinheit. Was das genau ist, werden Sie im Physikunterricht erfahren.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der EM-Welle ist die **Wellenlänge** (λ, ausgesprochen: „lambda“), die die Strecke angibt, die für eine vollständige Schwingung benötigt wird.

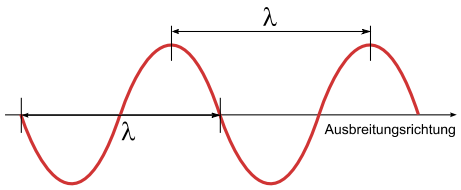

Abb. 1.1: *Definition der Wellenlänge (λ)* Q: e.W.

Die Abbildung 1.1 lässt bereits die Zusammenhänge zwischen Energie, Frequenz und Wellenlänge vermuten.

Merke: Je kürzer die

Je nach Energie bzw. Wellenlänge unterscheidet man verschiedene Qualitäten an EM-Strahlung *(vgl. Abb. 1.3 unten!)*. Nur Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen λ ≈ 400 und 800 Nanometer ($400 \cdot 10^{-9}$- $800 \cdot 10^{-9}$ m) ist für unser Auge sichtbar. Diese EM-Strahlung wird als **Licht** bezeichnet.

Lässt man weiß erscheinendes Licht durch ein Glasprisma fallen, so wird der Lichtstrahl zu einem Farbband gebrochen. Dieses Farbband bezeichnet man als **kontinuierliches Spektrum. Weißes Licht ist also eine Mischung aus diesen verschiedenen Spektralfarben.**

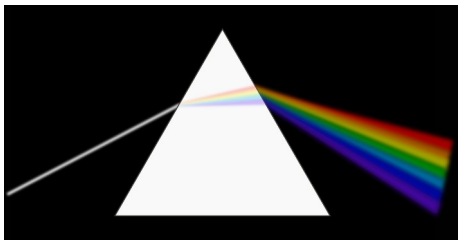

Abb. 1.2: *Ein Prisma erzeugt ein kontinuierliches Spektrum.* Q: wikicommons. A: Astroskiandhike

Bei den verschiedenen Farben des Spektrums handelt es sich also um Licht unterschiedlicher Wellenlängen. Jede Farbe entspricht einem bestimmten Energiebereich.

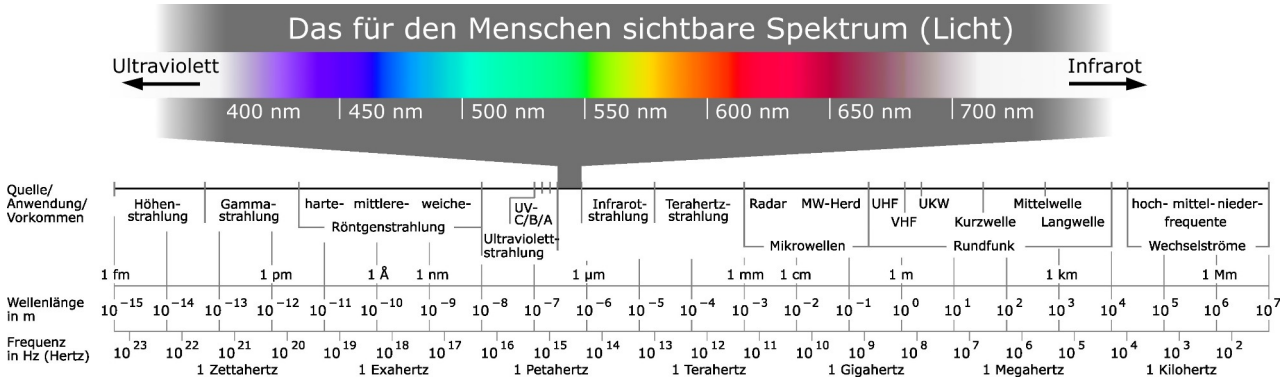

Abb. 1.3: *Elektromagnetisches Spektrum: .* Q: wikicommons. A: Horst Frank et al.

2. Entstehung der Linienspektren bei Wasserstoffatomen

Ein neutrales H-Atom besitzt nur ein einziges Elektron. Im energieärmsten Zustand des H-Atoms hält sich das Elektron auf der K-Schale auf, also auf der Schalennummer n = 1.

Durch Energieaufnahme, beispielsweise in Form von Wärme, kann das Elektron auf eine weiter außen liegende, energiereichere Schale springen, z.B. auf die M-Schale (n = 3). Die hierfür aufgenommene Energie entspricht dem Energieunterschied zwischen den beiden Zuständen des Elektrons. Beim H-Atom ist das gleichbedeutend mit dem Energieunterschied zwischen den beiden Schalennummern. Die Energien in der Abbildung 2.1 auch wiedergegeben *(siehe rechts, „E“ steht für „·10⁻⁻“)*.

Der angeregte Zustand ist nicht stabil. Die aufgenommene Anregungsenergie wird in Sekundenbruchteilen *vollständig auf einmal* oder stufenweise wieder abgegeben. Die Abgabe kann durch Aussendung (= **Emission) einer EM-Welle** mit dem entsprechenden Energiebetrag erfolgen. Dabei springt das Elektron auf eine energieärmere innen liegende Schale zurück. Das kann auch wieder die Ausgangsschale sein, beim H-Atom die K-Schale.

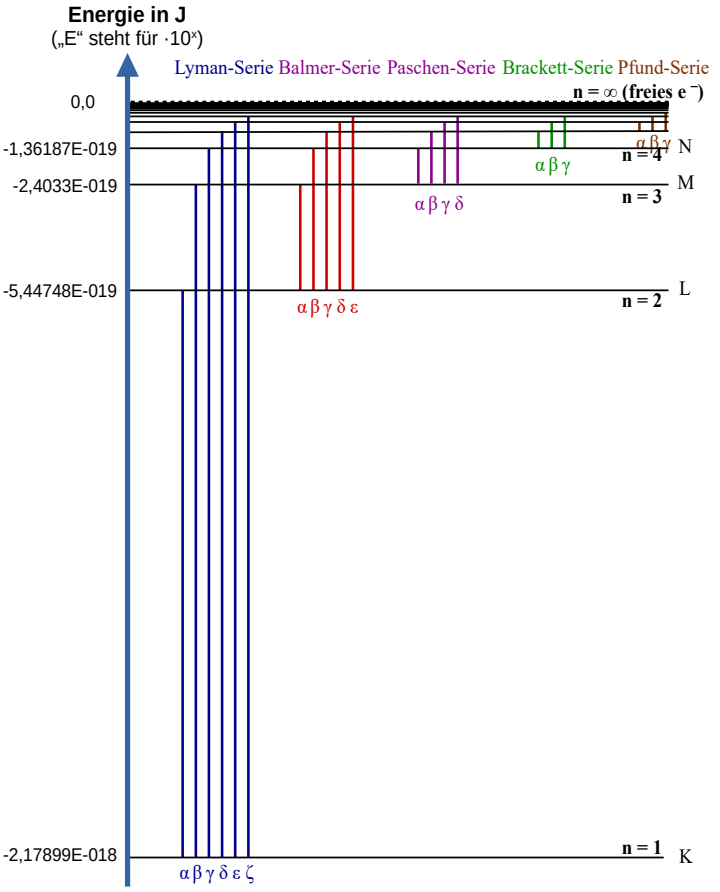

Abb. 2.1: Linienspektrum bei Wasserstoffatomen Q: wikicommons. A: Régis Lachaume, verändert

---

Je nachdem von welcher Schale das Elektron springt und in welche Schale es gelangt, besitzt die abgegebene EM-Welle eine charakteristische Energie und Wellenlänge (λ):

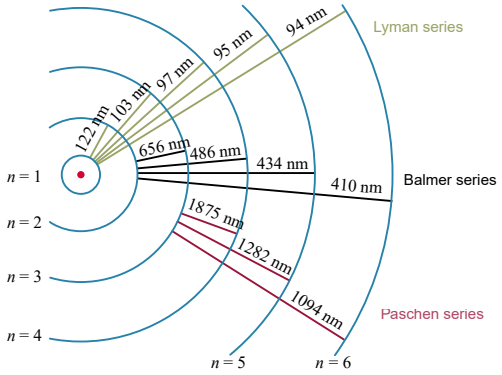

Abb. 2.2: *Zusammenhang zwischen Elektronensprung und der Wellenlänge der EM-Strahlung. Bei dieser Abb. hier wurde das BOHRsche Atommodell des H-Atoms genutzt. In Abb. 2.1 wurden die Energiesprünge hingegen in einem Energiediagramm dargestellt.* Q: wikicommons. A: OrangeDog

2.1 *Wir nehmen an, dass durch eine thermische Anregung das Elektron eines H-Atoms in die N-Schale gesprungen ist. Anschließend springt das Elektron in die L-Schale zurück.*

a) *Welche Wellenlänge und Farbe hat die abgegebene EM-Welle?*

λ =..... ***Farbe (siehe Abb.1.3): .....***

b) *Welche Wellenlänge hat der energiereichste und der energieärmste Sprung, der in Abb. 2.2 dargestellt ist?*

energiereichst: ..... *energieärmst: .....*

Merke:

c) *Beschriften Sie Abb. 2.1 mit den Ergebnissen aus 2.1b), an den entsprechenden Stelle.*

Regt man eine ganze Stoffportion von sehr vielen H-Atomen thermisch an, so resultieren alle möglichen thermischen Anregungen und Elektronenrücksprünge. Die insgesamt durch die Portion abgegebene EM-Strahlung, besteht somit aus EM-Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen. Die Wellenlängen werden zu **Serien** gruppiert bzw. zusammengefasst.

2.2 *Welche Gemeinsamkeit hat die EM-Strahlung der PASCHEN-Serie?*

Der Gesamtfarbeindruck für unser Auge ergibt sich als Mischung der Einzelfarben. Überwiegen beispielsweise EM-Wellen, die einzeln blaue und gelbe Farbeindrücke ergeben würden, so können wir mit dem Auge die Mischfarbe von blau und gelb sehen, also grün.

Lässt man die insgesamt emittierte Strahlung durch ein Prisma fallen, wie es in Abb. 1.2 dargestellt ist, so kann man die einzelnen EM-Wellen separieren. Man erhält ein **Linienspektrum.** *Für Wasserstoff-Atome resultiert beispielsweise folgendes Linienspektrum:*

....

Abb. 2.3: *Linienspektrum des Wasserstoffs (H-Atome): BALMER-Serie* Q: *wikicommons. A:* Jan Homann

2.3 *Geben Sie an den Spektrallinien in Abb. 2.3 die entsprechenden Wellenlängen an! Entnehmen Sie die Werte aus den Abbildungen oben.*

Auch andere Elemente/Atome besitzen solche charakteristischen Linienspektren.

Durch deren Auswertung der EM-Strahlung nach spektraler Zerlegung lässt sich ermitteln, von welchem Element die Strahlung stammt. So lässt sich die elementare Zusammensetzung von Materie einer Probe oder von Himmelskörpern und deren Atmosphäre analysieren.

Will man besonders fein aufgelöste Spektren erhalten, stört die Erdatmosphäre. Deshalb gibt es Weltraum-Teleskope, die vom Weltall aus die Spektren von Himmelskörpern analysieren.

Die Linienspektren von Atomen mit mehreren Elektronen sind aufgrund der Wechselwirkung der Elektronen untereinander deutlich komplexer als das Spektrum der H-Atome:

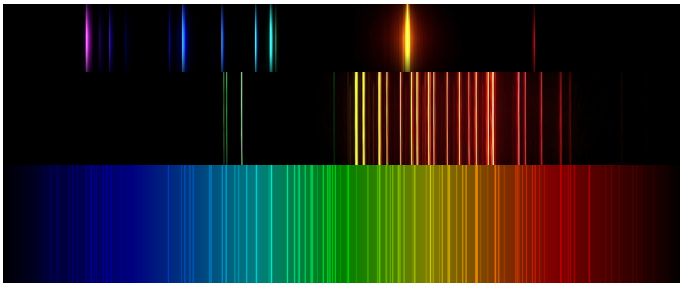

Abb. 2.3: *Linienspektren. oben: Helium (He). Mitte: Neon (Ne). unten: Xenon (Xe)* Q: wikicommons. *A:* Jan Homann

Die Flammenfärbung, die man bei vielen Ionen, wie beispielsweise Li^+ oder Ba^{2+}, beobachten kann, ist der optische Gesamteindruck sämtlicher sichtbarer EM-Strahlen, die bei der Desaktivierung der angeregten Ionen frei wird und in unser Auge gelangt.

Regt man eine Xenon-Probe an, so sind im abgegebenen Spektrum sehr viele EM-Wellenlängen enthalten *(siehe Abb. 2.3)*. Insgesamt ergibt sich ein weißer Farbeindruck. So erzeugen ***„Xenon-Autoscheinwerfer“*** ein gleißend helles, weißes Licht.