

# Quantenmechanik

## Photoeffekt

Auch wenn der Aufbau des Atoms bekannt ist – innen der Kern aus Protonen und Neutronen, außen die Elektronen – warfen die Vorgänge innerhalb eines Atoms einige Fragen auf, die erst von der Quantenmechanik gelöst werden konnten. Der erste Meilenstein war die Entdeckung des Photoeffekts und seine Erklärung durch Einstein.

[Video] Eine Zinkplatte, die sich auf einem Elektroskop befindet, wird mit einer Hochspannung negativ aufgeladen.

Das Elektroskop, das die Ladung auf der Platte anzeigt, schlägt aus.

Beleuchtet man die Zinkplatte nun mit einer starken Glühlampe, so bleibt die Ladung auf der Platte erhalten, egal wie hoch die Intensität des verwendeten Lichts ist. Der Zeiger des Elektroskops verändert sich nicht.

Ganz anders sieht es dagegen aus, wenn man die Zinkplatte wieder negativ auflädt, jetzt aber mit einer Quecksilberdampf-Lampe beleuchtet: der Ausschlag des Elektroskops geht rasch zurück, die negative elektrische Ladung auf der Zinkplatte verschwindet. Das Licht der Dampf Lampe muss also negative Ladungsträger, Elektronen, aus der Metalloberfläche gelöst haben.

Lange Zeit war das ein großes Rätsel: Licht als elektromagnetische Welle sollte ja eigentlich immer dazu in der Lage sein, Elektronen aus dem Metall herauszuschlagen, wenn nur die Intensität, also die Lichtstärke ausreichend hoch ist. Im Versuch zeigt sich aber, dass nur die Quecksilber-Dampf Lampe, deren Licht eine kürzere Wellenlänge und damit eine höhere Frequenz als die Glühlampe hat, Elektronen auslöst. Die Freisetzung von Elektronen ist also von der Frequenz des verwendeten Lichts abhängig, nicht von der Intensität.

Die Erklärung hierfür lieferte Albert Einstein im Jahr 1905, indem er annahm, dass die Energie von Licht in Energiepaketen vorliegt, die er „Photonen“ nannte. Nur wenn die Energie eines Photons, die nach der Formel  $E=h \cdot f$  direkt von der Frequenz  $f$  des Lichts abhängt, hoch genug ist, kann das Photon ein Elektron aus dem Metall herauslösen. Ist die Frequenz, und damit die Energie der Photonen, zu niedrig, bewirkt auch eine noch so hohe Lichtintensität keine Freisetzung von Elektro-

nen. Zwar wäre dann die Anzahl der auftreffenden Photonen sehr hoch, doch keines der Photonen würde ausreichend Energie besitzen, um ein Elektron aus der Zinkplatte herauszuschlagen.

### Franck-Hertz-Versuch

Einen weiteren Hinweis auf solche Quantenphänomene innerhalb von Atomen – dass Energie also nur portionsweise in Paketen, den sogenannten Quanten, übertragen werden kann, liefert der Franck-Hertz-Versuch.

Beim Franck-Hertz-Versuch wird wie in der Braun'schen Röhre ein negativ geladenes Metall, also eine Kathode, erhitzt und zum Glühen gebracht, wodurch Elektronen austreten. Die Elektronen werden im elektrischen Feld zwischen zwei Metallgittern beschleunigt. Die ganze Anordnung befindet sich in Neon-Gas. Die Elektronen fliegen zur positiv geladenen Anode, so dass dort ein Strom messbar ist.

[Video] Erhöht man die Beschleunigungsspannung an den Gittern, so steigt der mit dem Verstärker gemessene Strom an, da die Elektronen zur Anode hin beschleunigt werden.

Bei ca. 20 V Beschleunigungsspannung stellt man allerdings ein plötzliches Absinken des Stromes fest. In der Röhre wird gleichzeitig eine rot leuchtende Schicht sichtbar: Die Elektronen stoßen jetzt inelastisch mit den Gasatomen zusammen und geben dabei ihre Energie an die Neongas-Atome ab. Dadurch werden sie deutlich langsamer, der Strom an der Anode sinkt. Die Gasatome wiederum geben die Energie in Form von Licht ab, und das ist das rote Leuchten in der Röhre.

Mit zunehmender Beschleunigungsspannung steigt der Strom wieder an, bevor er bei ca. 40 V erneut absinkt: jetzt haben die Elektronen ausreichend Energie, um die Neongasatome zweimal anzuregen.

Damit ist klar, dass Atome nur spezielle Energiebeträge aufnehmen oder abgeben können. Elektronen mit einer kinetischen Energie ungleich  $20\text{eV}$  werden von den Neongasatomen nicht absorbiert, sonst wäre ja ständig ein Leuchten zu beobachten gewesen.

### Spektroskopie

Jetzt wollen wir die Leuchterscheinung in der Franck-Hertz-Röhre näher unter die Lupe nehmen. Die Untersuchung des von Atomen ausgesandten Lichts bezeichnet man als Spektroskopie, und kann zum Beispiel mit einem Prisma durchgeführt werden.

Ein Prisma zerlegt Licht in die verschiedenen Farben, da unterschiedliche Wellenlängen beim Übergang von Luft in Glas unterschiedlich stark gebrochen werden. Zunächst möchten wir mit einem solchen Prisma Tageslicht zerlegen. [Video1] Wie man sieht, erhalten wir einen Verlauf durch alle Farben, ähnlich einem Regenbogen. Alle bekannten Farben, und damit auch alle Wellenlängen, kommen im Sonnenlicht vor. Jetzt möchten wir durch ein Prisma hindurch das Licht einer Neon-Dampflampe, in der das Edelgas Neon mit einer Hochspannung zum Leuchten angeregt wird, beobachten. [Video2]

Neon besitzt ein ganz anderes Spektrum: statt des kontinuierlichen Farbverlaufs sind hier einzelne, voneinander scharf getrennte Linien zu erkennen. Neon sendet also nur Licht weniger ausgewählter Frequenzen aus - im Gegensatz zu Tageslicht, das alle Farben enthält.

Diese Erkenntnis war Grundlage für das Bohr'sche Atommodell und die Entwicklung der Quantenmechanik, nach welchen sich diese vereinzelt Spektrallinien wie folgt erklären lassen: die Elektronen in der Hülle der Neonatome werden in der Lampe durch eine elektrische Spannung auf ein höheres Energieniveau angeregt. Beim anschließenden Zurückfallen auf ein tieferes Niveau wird die Energiedifferenz als Photon ausgesandt.

Die möglichen Energiezustände werden in sogenannten Termschemata notiert. Im Termschema von Neon, das wir hier sehen, treten hauptsächlich Übergänge im Bereich von ca. 600nm auf. 600nm entsprechen orangefarbenem Licht, genau diese Linien beobachten wir im Prisma.

Damit sind die Vorgänge in der Atomhülle, die sich mit der Quantenmechanik auch mathematisch beschreiben ließen, vollständig verstanden. Wie aus der Chemie bekannt, kann das Periodensystem der Elemente vollständig mit Proton, Neutron und Elektron als Grundbausteine eines Atoms erklärt werden.