

Aufgabe 1 – Das Bohrsche Atommodell (50P)

Bohr, Niels Henrik David

dänischer Physiker, *Kopenhagen 1885, ebenda 1962; Professor in Kopenhagen (1943 in den USA, emigriert); wandte 1913 die Quantenhypothese (Max Planck 1900, Albert Einstein ab 1905) auf das Atommodell Ernest Rutherfords an und schuf das **Bohr'sche Atommodell**, das erstmals so genannte Quantenbedingungen enthielt. 1918 führte Bohr das Korrespondenzprinzip ein. Auf der Basis seines von A. Sommerfeld erweiterten Atommodells konnte er 1921 das Periodensystem der chemischen Elemente theoretisch erklären. 1922 erhielt er den Nobelpreis für Physik.

überarbeitet aus: © 2003 Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG

Ebenfalls 1913 erkannte **H. G. J. Moseley**, dass jedes Element eine charakteristische Röntgenstrahlung besitzt und diese mit der Kernladungszahl Z und nicht mit der Atommasse korreliert. Sein „Moseleysches Gesetz“ lässt sich unmittelbar aus dem Bohrschen Atommodell ableiten.

In einem Versuch werden nun in einer Röntgenröhre Elektronen mit hoher Spannung beschleunigt und auf eine Kupferanode geschossen. Die entstehende Röntgenstrahlung wird nach der Drehkristallmethode spektral zerlegt und die Intensität der Strahlung als Funktion des Drehwinkels ν aufgetragen. Dabei erhält man das im Anhang aufgeführte Spektrum (entnommen aus Metzler Physik 4. Auflage).

Arbeitsaufträge:

11. Nenne die Bohr'schen Postulate und erläutere die resultierenden Widersprüche zur klassischen Physik. (10P)
12. Skizziere in einem Energiediagramm die ersten drei „Serien“ im Wasserstoffatom und berechne für diese jeweils den möglichen Energie-, Frequenz- und den Wellenlängenbereich. (12P)
13. Beschreibe den Verlauf des im Anhang gezeigten Röntgenspektrums und erläutere, wie aus dem Drehwinkel auf die Wellenlänge der Röntgenstrahlung geschlossen werden kann. (8P)
14. Berechne aus dem Diagramm die Beschleunigungsspannung in der Röntgenröhre. (6P)
15. Erläutere den Ausdruck „effektive Kernladung“ Z^* am konkreten Beispiel der Ionisierungsenergie der 1. (=„K“)-Schale in Kupfer und berechne diese („Gesetz von Moseley“, s. unten). (6P)
16. Berechne die Energie des Übergangs von der 2. auf die 1. („K“-Schale) und identifiziere diesen Übergang begründet im Diagramm. (8P)

Aufgabe 2 – Welle – Teilchen – Dualismus (50P)

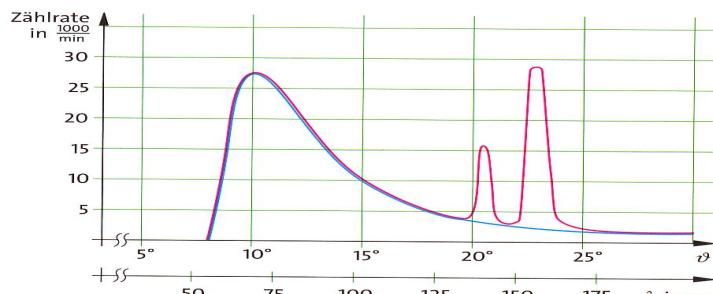
Während viele Experimente die Wellennatur des Lichtes zeigen, traten bei anderen experimentellen Anordnungen Phänomene auf, welche eindeutig auf „Lichtteilchen“, die Photonen, hinwiesen. Diese Beobachtungen leiteten die physikalische Revolution der Quantenphysik ein, die zusammen mit der Relativitätstheorie die Wissenschaft der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts dominierten und bis heute faszinieren. Die frühesten Untersuchungen des Licht-elektrischen Effekts lassen sich heute im Unterricht über die Messung von Grenzspannungen bei LED sehr einfach nachstellen und zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquants h nutzen. Die derart experimentell gewonnenen Daten sind im Anhang tabellarisch dargestellt.

Durch den Comptoneffekt und noch deutlicher durch die Beugung von Elektronen wurde dann endgültig bestätigt, dass alle Teilchen auch Welleneigenschaften haben und Licht auch Impuls und Energie in quantisierter Form transportiert.

Arbeitsaufträge:

21. Stelle die experimentell gewonnenen Messwerte des umgekehrten Licht-elektrischen Effekts in geeigneter Form graphisch dar und bestimme daraus graphisch das Plancksche Wirkungsquantum h . (10P)
22. Ein Laser liefert eine Lichtintensität von 1W pro mm^2 . Es handelt sich um monochromatisches Licht mit einer Wellenlänge von 635nm . Berechne unter korrekter Umformung der Einheiten die Zahl der Photonen, die in einer Sekunde auf 1mm^2 treffen. (4P)
23. Erläutere anhand einer Skizze den Comptoneffekt unter dem Aspekt der Lichtquantenhypothese und der Erhaltungssätze ausführlich (keine Herleitung der Compton-Formel, nur Beschreibung und Begründung des Effekts!) und berechne für den Gammapeak in der in der Anlage gezeigten Messkurve bei etwa $2,15\text{MeV}$ die Lage der Comptonkante. Vergleiche diese mit dem Kurvenverlauf. (16P)
24. Genauso, wie Licht bei der Wechselwirkung mit Materie Teilcheneigenschaften zeigt, können auch Masse-behaftete Teilchen, z. B. Elektronen, Welleneigenschaften aufweisen. Jönsson zeigte 1959 in einem aufsehenerregenden Experiment, dass der Doppelspaltversuch der klassischen Optik auch mit Elektronen funktioniert. Hierzu wurden Elektronen mit einer Spannung von $54,7\text{kV}$ beschleunigt und auf eine Doppelspaltanordnung (Abstand $b=2\mu\text{m}$) geschossen. Mittels eines Elektronenmikroskopes konnte das entstehende Beugungsbild auf einem Schirm im Abstand von 40cm sichtbar gemacht werden. Zeichne und interpretiere das erwartete Beugungsbild. Berechne hierzu die Wellenlänge λ der Elektronen (trotz der hohen Energie darf hier als Näherung nicht-relativistisch gerechnet werden!) und die Lage der Beugungsmaxima bis zur dritten Ordnung auf dem Schirm. (14P)
25. Diskutiere die Aussage „Elektron plus Elektron ergibt KEIN Elektron“ in Analogie zu „Licht plus Licht ergibt Dunkelheit“ bei der Lichtinterferenz. (6P)

Zu Aufgabe 1: Röntgenspektrum und Gesetz von Moseley



438.1 Spektrum der Röntgenstrahlung von einer Anode aus Kupfer, aufgenommen nach dem Bragg-Verfahren. Als Kristallmaterial wurde Lithiumfluorid mit dem Netzebenenabstand $d = 201 \text{ pm}$ verwendet. Die Intensität ist sowohl als Funktion des Winkels δ wie der Wellenlänge λ aufgetragen. Die grüne Linie gibt zum Vergleich den Verlauf der kontinuierlichen Strahlung bzw. der Bremsstrahlung an.

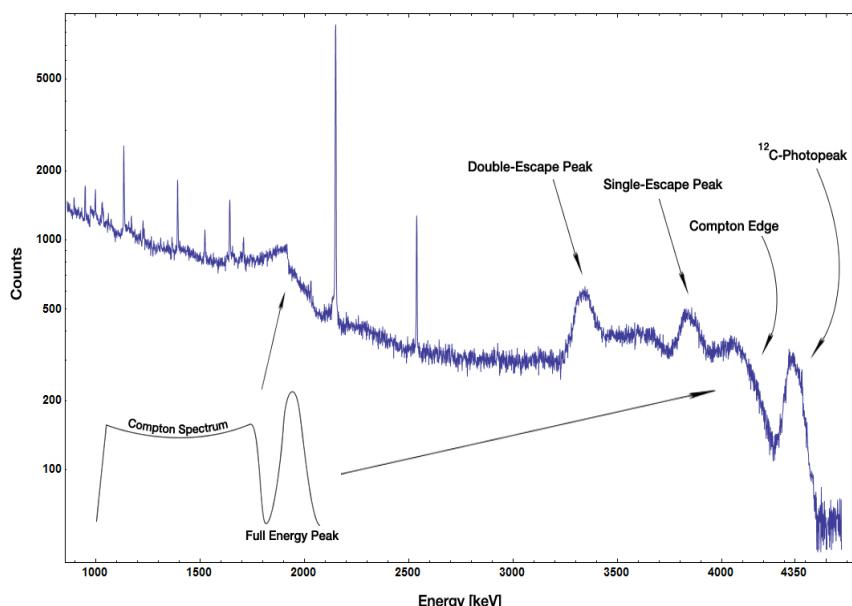
$$E_n = E_{Ryd} \cdot (Z^*)^2 \cdot \left(\frac{1}{n^2} \right)$$

Gesetz von Moseley mit der Rydberg-Energie $E_{Ryd} = -13,6 \text{ eV}$
 Z^* ist die effektive Kernladung.

Zu Aufgabe 2: umgekehrter Licht-elektrischer Effekt (LED)

Wellenlänge λ in nm	665	635	560	480
Grenzspannung in V	1,9	2,05	2,25	2,65

Zu Aufgabe 2: Comptonkante (Quelle: Wikipedia [Am-Be-SourceSpectrum.jpg](#))



Compton-Formel zur Berechnung der Wellenlängenänderung bei der Streuung von Gammaquanten an (quasi)-freien Elektronen in Abhängigkeit vom Streuwinkel:

$$\Delta\lambda = (h/m_e c) \cdot (1 - \cos\varphi)$$