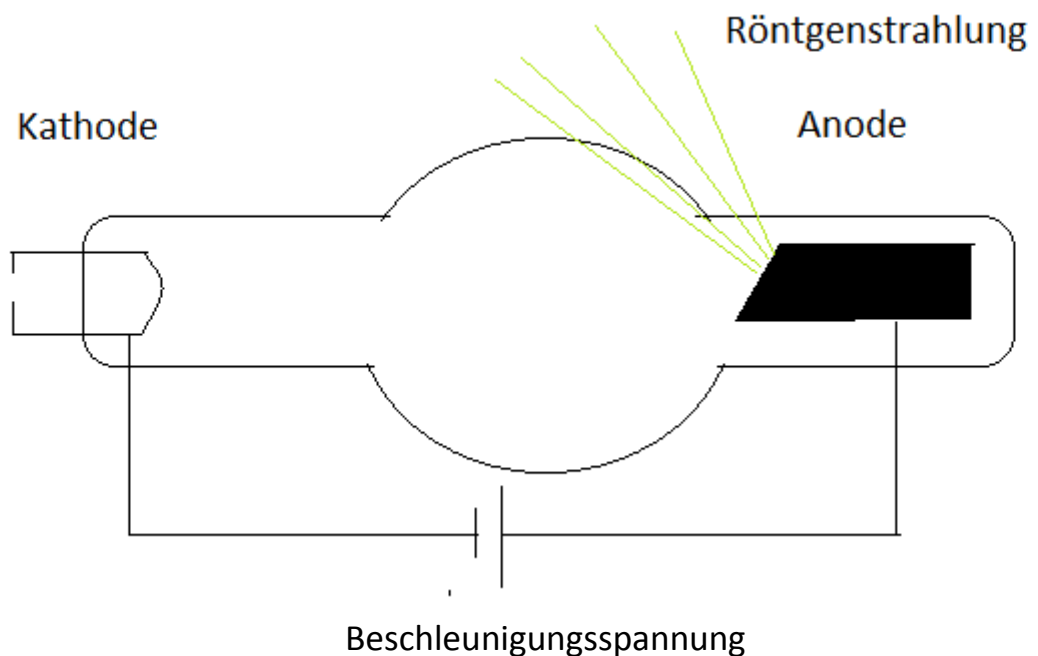


Die Röntgenstrahlung

Historische Fakten:

- 1895 entdeckte Röntgen beim Experimentieren mit einer Gasentladungsröhre, dass fluoreszierende Kristalle außerhalb der Röhre zum Leuchten angeregt wurden, obwohl der Raum abgedunkelt war. Auch durch Abdeckung mit der Hand war das Leuchten nicht zu stoppen.
- 1896 gab es die ersten medizinischen Untersuchungen
- Röntgen erhielt für seine Entdeckung einen Nobelpreis.

Die Entstehung von Röntgenstrahlung



Die Abbildung zeigt eine handelsübliche Röntgenröhre

- Die Elektronen werden aus der Kathode ausgelöst und werden aufgrund der Beschleunigungsspannung von der Anode angezogen.
- Durch den Aufprall der Elektronen auf der Anode mit hoher Geschwindigkeit wird eine große Menge von Energie freigesetzt.
- Diese Energie wird in Form von thermischer Strahlung freigesetzt und zu 1% werden dabei Röntgenquanten freigesetzt, die die Ursache für die Röntgenstrahlung darstellen.
- Das Auslösen von Röntgenphotonen durch schnelle Elektronen stellt in gewissem Sinne die Umkehrung des lichtelektrischen Effektes dar.

Genauere Untersuchung der Röntgenstrahlung

Die Röntgenstrahlung entsteht durch den Aufprall schneller Elektronen auf der Anode.

Die dabei frei werdende Energie wird zur Umwandlung in Röntgenphotonen genutzt.

Die elektrische Energie der Elektronen wird in statisch regellosen Stufenprozessen in Photonenenergie umgewandelt. So entsteht zunächst das kontinuierliche Bremsspektrum der Röntgenstrahlung.

Dieses kontinuierliche Bremsspektrum besitzt eine scharfe Grenze, die sich folgendermaßen erklären lässt:

Im Grenzfall wird die komplette, elektrische Energie eines Elektrons in die Photonenenergie umgewandelt, d.h.:

$$eU = h \cdot f_g$$

Aufgelöst nach der Grenzfrequenz ergibt sich folgendes:

$$f_g = \frac{eU}{h}$$

Grenzfrequenz des kontinuierlichen Röntgenspektrums

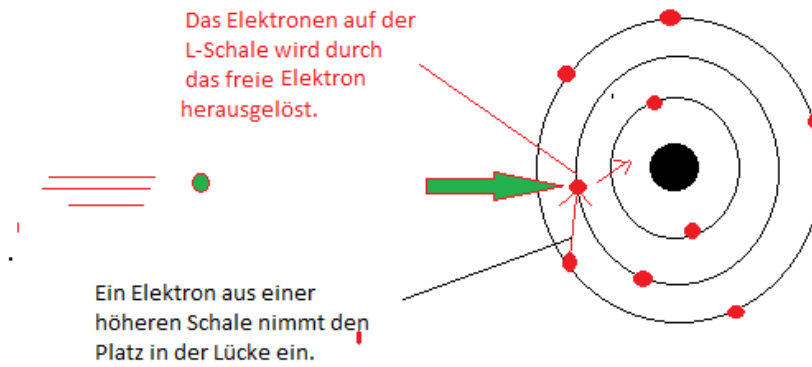
Experimentelle Möglichkeit:

Durch das sehr exakte Ermitteln der Grenzfrequenz ist man in der Lage aus dieser Grenzfrequenz das Planck'sche Wirkungsquantum sehr präzise zu ermitteln.

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Erzeugung von Röntgenphotonen die kinetische Energie der Elektronen genutzt wird, ist die Röntgenstrahlung die Umkehrung des äußeren Photoeffekts.

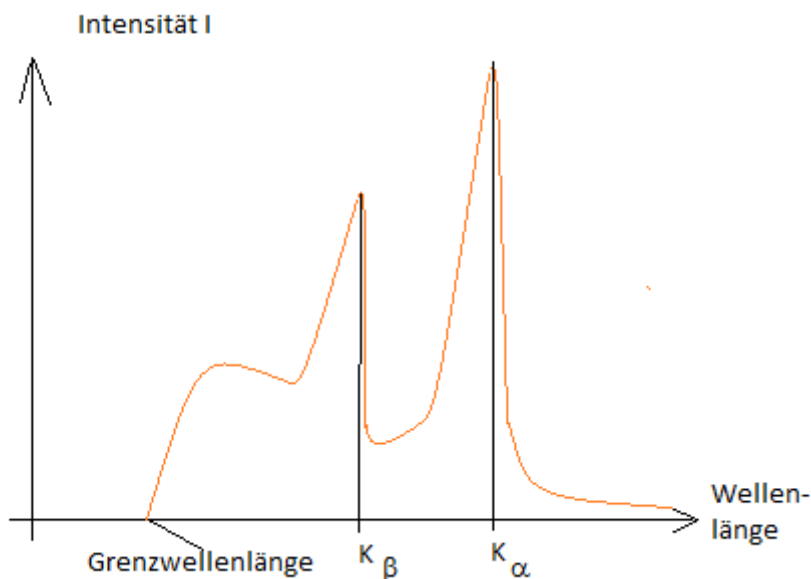
Interpretation der Grenzfrequenz:

Wird die Spannung höher geregelt als sie zur Erlangung der Grenzfrequenz notwendig ist, dann entstehen einerseits mehr Photonen und andererseits wird die Anode aufgrund der thermischen Strahlung erwärmt. Dies erfolgt in einem kontinuierlichen Effekt.



In einigen Fällen kann es passieren, dass ein schnelles Elektron aus der Atomhülle ein Elektron herausschießt. Diese Lücke wird unter Abgabe von Energie von einem Elektron aus einer höheren Schale besetzt. Diese Energie wird in Form von Photonenstrahlung freigesetzt.

Die Energiedifferenz zwischen zwei Schalen liegt im Bereich der Röntgenstrahlung. Da die Energiestufen in einem Atom für das Atom charakteristisch sind, ist diese emittierte Röntgenstrahlung ebenfalls charakteristisch und wird daher als charakteristisches Röntgenspektrum bezeichnet.



Für die K_{α} - Linie gibt es eine quantitative Beschreibung durch das Moseley-Gesetz:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4} R (Z - 1)^2$$

$$R = 1,0967758 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}} \text{ und } Z \text{ ist die Kernladungszahl}$$

Aufgaben zur Röntgenstrahlung

a) Ermittlung des Anodenmaterials

Dazu ermittelt man aus dem Moseley-Gesetz die Kernladungszahl Z , da diese im Periodensystem die Ordnungszahl ist.

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4} R (Z - 1)^2 \cdot \frac{4}{3R}$$
$$\frac{4}{3} \cdot \frac{1}{\lambda R} = (Z - 1)^2 \Rightarrow Z = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{1}{\lambda R}} + 1 = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{1}{7,10 \cdot 10^{-11} \text{m} \cdot 1,097 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}}} + 1 = 42$$

Damit handelt es sich um Molybdän.

b) Ermittlung der Spannung für die charakteristische Röntgenstrahlung:

$$E_{K\alpha} = h \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,10 \cdot 10^{-11} \text{m}} = 2,80 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Um diese Energie zu emittieren, muss man die Energie der K-Kante überwinden. Das bedeutet, dass die auslösende Energie höher sein muss oder mindestens so groß wie die Kantenenergie:

Betrachtung der Kantenenergie:

Nach dem Gesetz von Moseley gilt:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4} R \underbrace{(Z - 1)^2}_{\frac{1}{\lambda_0}}$$
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4} \frac{1}{\lambda_0} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_0} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

Da die Energie direkt zum Kehrwert der Wellenlänge proportional ist, folgt für die Kantenenergie:

$$E_K = \frac{4}{3} \cdot 2,80 \cdot 10^{-15} \text{ J} = 3,73 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Damit ist folgende Spannung mindestens notwendig:

$$U = \frac{E_K}{e} = \frac{3,73 \cdot 10^{-15} \text{ J}}{1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 23,3 \text{ kV}$$

Diese Spannung ist notwendig, damit man die K-alpha-Linie emittieren kann.

c) Berechnung der Kurzwelligen Grenze:

$$h \frac{c}{\lambda_g} = eU \Rightarrow \lambda_g = \frac{hc}{eU} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 50000 \text{ V}} = 2,48 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Qualitatives Spektrum:

