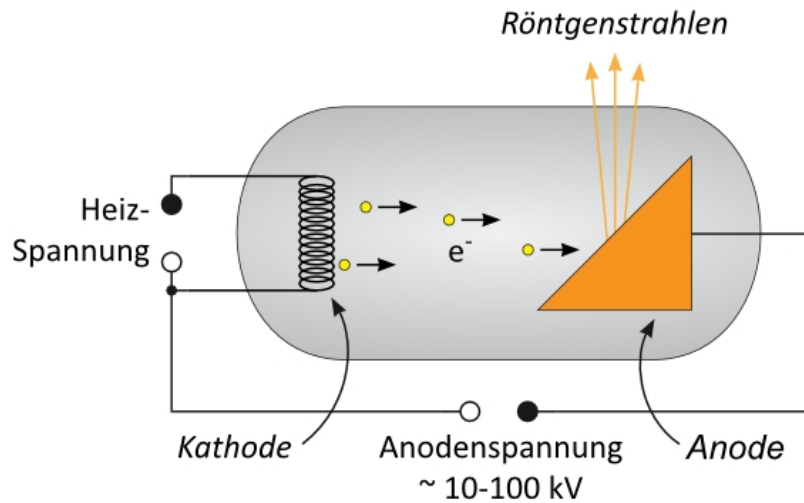


Umkehrung des Photoeffektes: Röntgenstrahlung



Eine Röntgenröhre besteht aus einem evakuierten Glasbehälter, der zylinderartig geformt ist. Auf der linken Seite sieht man die Kathode, die mit einer Heizspannung von einigen Volt betrieben wird, damit durch den glühelektrischen Effekt Elektronen aus dem Kathodenmaterial austreten können.

Auf der rechten Seite ist die Anode zu erkennen, die abgeschrägt ist. Zwischen Kathode und Anode liegt eine recht hohe Beschleunigungsspannung zwischen etwa 10.000 bis 100.000 V. Die Elektronen erhalten die kinetische Energie

$$\frac{1}{2}mv^2 = e \cdot U.$$

Die dadurch sehr schnellen Elektronen werden in der Anode stark abgebremst. Beim Stoß mit Atomen bzw. Kernen in der Anode können die Atome Bewegungsenergie von den Elektronen übernehmen. So ist zu verstehen, dass 99% der Energie der Elektronen in der Anode in Wärme umgewandelt werden und die Anode üblicherweise gekühlt werden muss. Das ist der langweilige Teil dieses Experimentes.

Beim Abbremsen eines Elektrons tritt eine sehr hohe Beschleunigung einer Ladung auf. Beschleunigte Ladungen müssen eine elektromagnetische Welle aussenden wie es bei den in einer Stabantenne hin- und her beschleunigten Elektronen auch der Fall ist. So wäre der Vorgang im Wellenmodell (teilweise) erklärt.

Quantenphysikalisch kann die kinetische Energie eines Elektrons auch zur Entstehung eines Photons genutzt werden. Mit etwa 1% der Gesamtenergie in der Röntgenröhre passiert dies auch. Bei der **Entstehung eines Photons** muss man Folgendes noch beachten:

- Im Idealfall wird in einem einzigen Bremsvorgang z.B. in der Nähe eines Kerns quasi die gesamte kinetische Energie direkt in ein einzelnes Photon gesteckt, das dadurch natürlich sehr energiereich bzw. das energiereichste Photon bei diesem Vorgang wird.

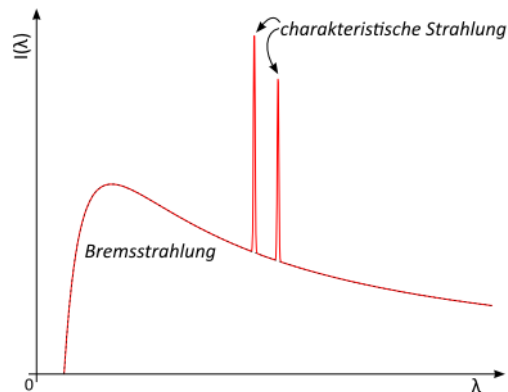
Aus $\frac{1}{2}mv^2$ wird direkt ein Photon mit der Energie hf . Gleichsetzung ergibt

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}m_e v^2 &= hf \quad \text{oder} \\ e \cdot U &= hf \quad \text{oder} \\ e \cdot U &= \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{mit } \lambda \cdot f = c) \quad \text{oder} \\ \lambda &= \frac{hc}{eU} \quad \text{nach Umstellung nach } \lambda.\end{aligned}$$

Für die maximale Energie eU ergibt sich also in diesem Idealfall ein minimales λ_{\min} .

- Gelingt es nicht wie im Idealfall, die gesamte Energie in einem einzigen Bremsakt in ein „großes“ Photon umzuwandeln, dann kann die Energie in mehreren Bremsakten in mehrere energiemäßig kleinere Photonen umgewandelt werden, die dann eine entsprechend größere Wellenlänge besitzen.

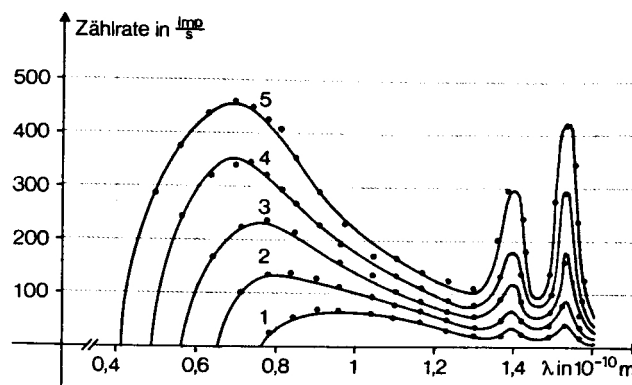
Untersucht man diese sogenannte **Bremsstrahlung** genauer, dann ergibt sich die folgende Intensitätsverteilung:



Es ist gut zu erkennen, dass es eine minimale Wellenlänge gibt und alle möglichen Wellenlängen darüber.

- Zusätzlich tritt eine sogenannte **charakteristische Strahlung** in Form von meist nur zwei festen Wellenlängen auf. Den dafür verantwortlichen Vorgang in den Atomen können wir mit unseren jetzigen Kenntnissen noch nicht erklären. In einem sehr stark vereinfachten Modell könnte man sich ein Atom wie eine Gitarre vorstellen, die mit Steinen beworfen wird. Als Ergebnis hört man dann sechs verschiedene Töne durch die sechs Saiten, die durch die Steine (stehen für die Elektronen) in Schwingung geraten und Schallwellen aussenden. Sind die Saiten anders gestimmt, dann hört man andere Töne. Auf die Atome übertragen heißt das, dass die charakteristische Strahlung vom Material, d.h. von den Atomen dieses Materials abhängt, während die Bremsstrahlung materialunabhängig ist.

Im folgenden Diagramm sind die Spektren für 5 verschiedene Beschleunigungsspannungen dargestellt.



Mit aufsteigender Nummer von 1 bis 5 wächst auch die benutzte Beschleunigungsspannung (eine ähnliche Graphik ist im Buch Bild 146.2). Man sieht deutlich, dass mit aufsteigender Beschleunigungsspannung die Grenzwellenlänge sich zu kleineren Werten verändert. Die beiden „Peaks“ für die charakteristische Strahlung bleiben an der gleichen Stelle.

Ergänzungen:

1. Die Röntgenstrahlen wurden am 8. November 1895 von WILHELM CONRAD RÖNTGEN entdeckt. Er selbst nannte die Strahlen **X-Strahlen**, weil er einfach nicht wusste, was das X ist. Diese Bezeichnung wird auch heute noch benutzt.
2. Von Röntgenstrahlung spricht man im Bereich von etwa 10 nm (oberhalb davon bis zu ca. 400 nm spricht man von UV-Strahlung) bis hinab zu einigen Pikometern (1 Pikometer = 1 pm = $1 \cdot 10^{-12}$ m).
3. Röntgenstrahlung entsteht auch durch die starke Beschleunigung von Ladungen in Blitzen und anschließender Entstehung von Bremsstrahlung.
4. Die wichtigste Anwendung von Röntgenstrahlung ist die medizinische Durchleuchtung von Körpern.



5. Früher hatte praktisch jeder Haushalt in Deutschland ein Röntgengerät im Wohnzimmer stehen. In einem Röhren-Farbfernseher wurden mit einer Spannung von ca. 35.000 V Elektronen beschleunigt und durch Magnetfelder abgelenkt zum Bildschirm geführt, wo sie im Material abgebremst wurden, also Röntgen-Bremsstrahlung erzeugten. Durch dickes Bleiglas hat man diese Strahlung abgeschirmt.