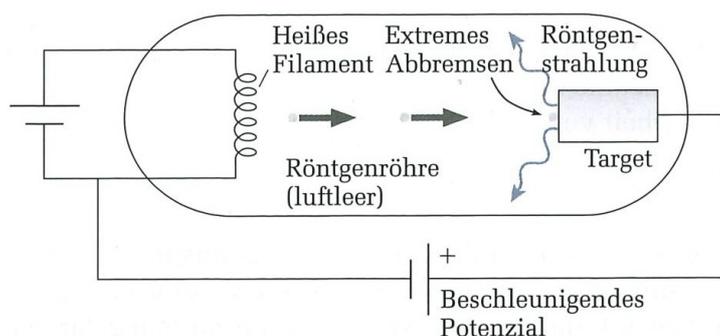


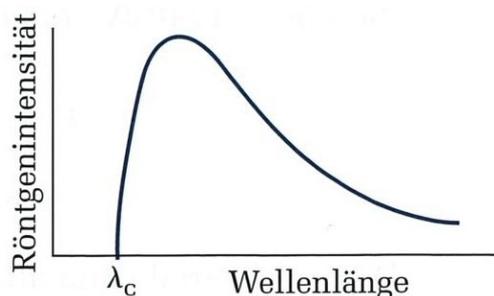
## Die Erzeugung von Röntgenstrahlen

Wir benutzen die Bezeichnung **Röntgenstrahlen** für elektromagnetische Strahlung, deren Wellenlänge im Bereich zwischen  $10^{-2}$  nm bis 10 nm liegt. Conrad Wilhelm Röntgen stellte unter anderem fest, dass Röntgenstrahlen Fotoplatten belichten konnten, nachdem sie einen Festkörper, beispielsweise einen menschlichen Körper, durchquert hatten.<sup>1</sup> Für seine Entdeckung erhielt er 1901 den ersten Physiknobelpreis. Heutzutage sind Röntgenstrahlen in vielen Forschungsbereichen ein unentbehrliches Hilfsmittel. Ihre Erzeugung liefert jedoch auch deutliche Hinweise darauf, dass die elektromagnetische Strahlung aus Teilchen besteht.



Wie oben dargestellt, lassen sich Röntgenstrahlen erzeugen, indem Elektronen mit hoher Geschwindigkeit auf ein metallisches Target geschossen werden. Sobald sie auftreffen, erzeugen die extrem abgebremsten Ladungen eine Strahlung, die als **Bremstrahlung** bezeichnet wird. Dass elektromagnetische Strahlung auf diese Weise erzeugt werden kann, ist aus klassischer Sicht vielleicht gar nicht so verwunderlich. Wenn es sich aber um eine Welle handeln soll, dann würden wir erwarten, dass sie das ganze Spektrum überdeckt. Obwohl die Gesamtenergie durch die Anzahl der Elektronen beschränkt ist, die pro Zeiteinheit eintreffen, gibt es keinen Grund dafür, dass nur Wellen in einem bestimmten Wellenlängenbereich auftreten sollten. Aber genau das ist der Fall.

Rechts sehen wir das Spektrum, das von Elektronen hervorgerufen wird, die mit einer kinetischen Energie von  $E_e = 25$  keV auf ein Molybdän-Target auftreffen. Es ist sehr breit<sup>2</sup>, allerdings gibt es keine Wellenlängen, die kürzer als  $\lambda_c = 0.050$  nm sind. Dieser Wert wird als **Grenzwellenlänge** bezeichnet. Die klassische Physik kann dieses abrupte Ende des Spektrums nicht erklären.



Die nichtklassische Erklärung besteht darin, dass die elektromagnetische Strahlung einer bestimmten Frequenz keine beliebig geringe Amplitude haben kann. Da die Strahlung quantisiert ist, stellt die minimale Energie  $hf$ , die bei der Frequenz  $f$  noch erlaubt ist, ein einzelnes Photon dar. Wir können kein halbes Photon erzeugen. Falls nicht mehrere Elektronen ihre Energien auf ein einzelnes Photon bündeln, dann sollte niemals ein Photon entstehen, dessen Energie größer ist als die kinetische Energie eines einzelnen Elektrons.

Ist das so? Setzen wir die kinetische Energie eines ankommenden Elektrons gleich der Energie eines einzelnen Photons:

$$E_e = \frac{hc}{\lambda} \quad \Leftrightarrow \quad \lambda = \frac{hc}{E_e} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{25\,000 \text{ eV}} \approx \frac{1}{20} \text{ nm} = 0.050 \text{ nm}$$

Das sind ziemlich überzeugende Hinweise. Elektronen scheinen ihre Energien nicht miteinander zu kombinieren.

<sup>1</sup>Ursprünglich nannte Röntgen diese Strahlung **'X-Strahlen'** (das "X" steht für rätselhaft). Diesen Namen tragen sie in der englischen Literatur immer noch: *X-rays*.