

Die Röntgenbremsstrahlung und die bragg'sche Reflexion

Lässt man energiereiche Elektronen, die vorher im Vakuum beschleunigt wurden, auf Materie aufprallen, so entsteht eine elektromagnetische Wellenstrahlung, die nach ihrem Entdecker **Röntgen (1895)** als **Röntgenstrahlung** bezeichnet wird. Röntgen erhielt dafür 1901 den *ersten Nobelpreis* für Physik.

Aufbau einer Röntgenröhre:

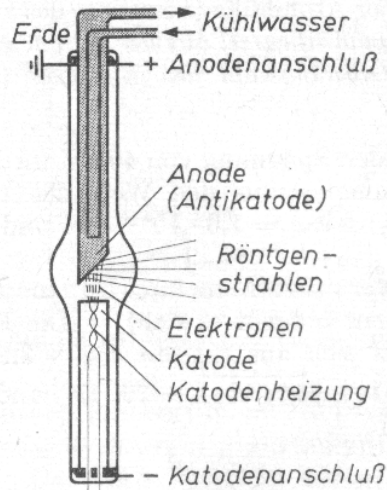


Bild 6.28. Hochvakuum-Röntgenröhre (schematisch)

Das kontinuierliche Röntgenspektrum

Die Entstehung des kontinuierlichen oder Bremspektrums wird nach der klassischen Elektrodynamik als Folge des Abbremsens der schnellen Elektronen durch die Atomkerne des Bremsmaterials (Wechselwirkung zwischen Elektronen und Coulomb – Feld des Kerns) erklärt.

Strahlung der Höchsthäufigkeit, sog. Grenzfrequenz f_{gr} , wird dann ausgesandt, wenn das

Elektron seine gesamte kinetische Energie $E_{kin} = eU = \frac{m_e}{2} v^2$ (U Beschleunigungsspannung)

in einem **einzigem**, kurzzeitigen Bremsprozess einbüßt.

Es gilt dann:

$$hf_{gr} = E_{kin} = eU_B.$$

Wegen $\lambda = \frac{c_0}{f}$ (c_0 Vakuumlichtgeschwindigkeit) ergibt sich damit unabhängig vom

Bremsmaterial eine untere **Grenzwellenlänge** von:

$$f_{gr} = \frac{hc_0}{eU} = \frac{12,39}{U} \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

kV

Bei 12,39kV Beschleunigungsspannung erreicht man also eine kurzwellige Grenze des Bremspektrums bei der Wellenlänge $10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$. Da die Endgeschwindigkeit der abgebremsten Elektronen zwischen null und der Anfangsgeschwindigkeit variieren kann, entsteht ein kontinuierliches Spektrum, das von λ_{gr} bis zu unendlich großen Wellenlängen reicht.

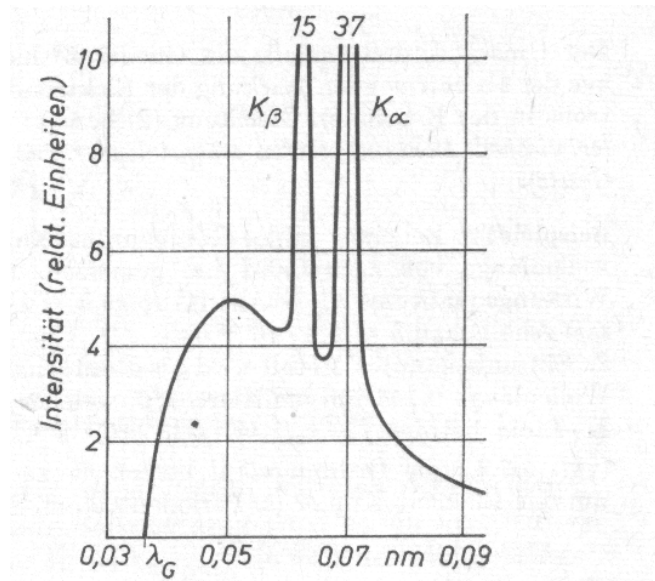
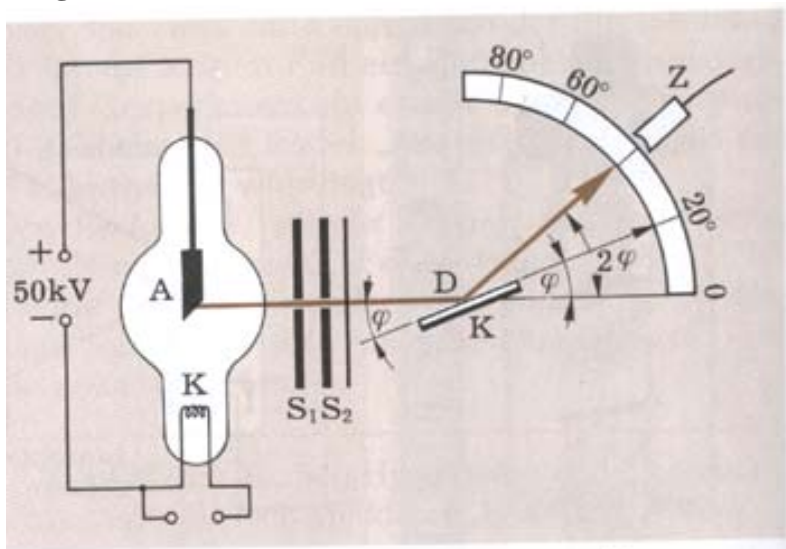


Bild 6.29. Bremspektrum mit überlagerter charakteristischer K_{α} - und K_{β} -Strahlung einer Molybdän-Anode (Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge)

Durch Beschleunigung von Elektronen in dem als Betatron bezeichneten Elektronenringbeschleuniger erhält man besonders harte Röntgenstrahlung von $\approx 5 \cdot 10^{-14} m$ Wellenlänge.

Lenkt man die Röntgenstrahlung auf ein Kristall und tastet mit einem entsprechenden Zählrohr die Strahlungsintensität ab, erhält man ein Raumgitterspektrum (Laue – Diagramm) und die **braggsche Reflexionsbedingung**.

Anordnung:



Als Ergebnis erhält man:

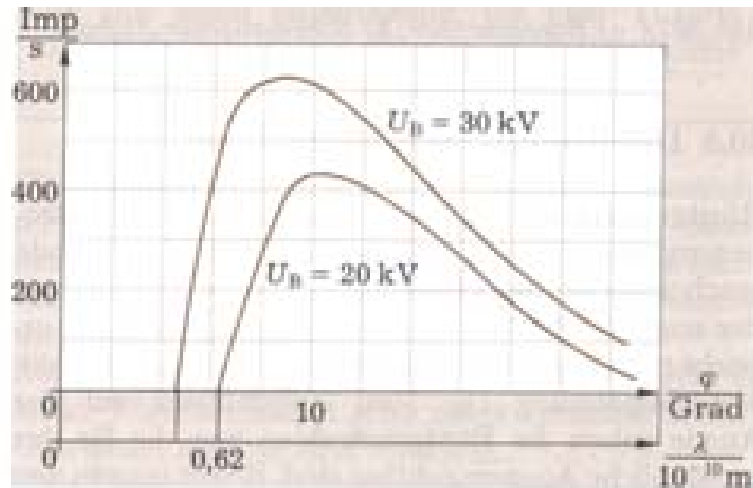


Abb. 398.2 Kontinuierliches Röntgenspektrum für zwei verschiedene Beschleunigungsspannungen

Dabei ist auch hier die Grenzwellenlänge bestimmbar und man hat eine weitere Methode das plancksche Wirkungsquantum zu bestimmen.

Betrachtet man nun die einzelnen Kristallebenen, so erhält man durch die Berechnung des Gangunterschiedes die braggsche Reflexionsbedingung.

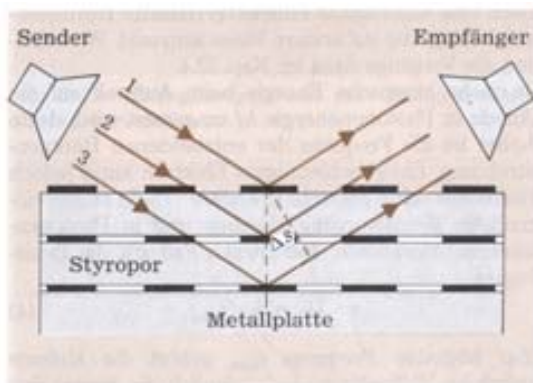


Abb. 397.3 Bragg-Reflexion von cm -Wellen an Metallplättchen im Styroporwürfel

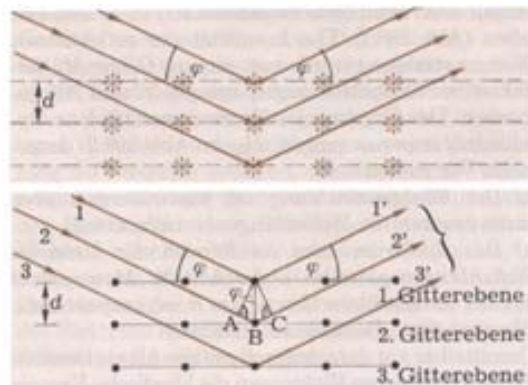


Abb. 397.4 a) Streuung von Röntgenstrahlung an den Atomen, b) zur Ableitung der Braggbedingung

Versuch

Als Kristallgittermodell benutzen wir geschichtete Styroporplatten, auf die man in regelmäßiger Anordnung kleine Metallplättchen geklebt hat. Lässt man die cm -Wellen vom Sender schräg auf die Platten fallen, so können wir nur bei ganz bestimmten Winkeln mit dem Empfänger eine merkliche Strahlung feststellen. Zur Erklärung dieses Phänomens müssen wir beachten, dass die an verschiedenen Ebenen reflektierten Wellen einen bestimmten Gangunterschied zueinander haben. Vom Wellenzug 1 zu Wellenzug 2 beträgt er Δs . Bei ganz bestimmten Reflexionswinkeln ist der Gangunterschied benachbarter Wellenzüge gerade eine Wellenlänge oder ein Vielfaches einer Wellenlänge. Bei diesen Winkeln registrieren wir dann eine kräftige reflektierte Strahlung.

Analog wie die cm -Wellen verhalten sich Röntgenstrahlen, wenn sie schräg auf ein Kristallgitter treffen. Diese Streuzentren liegen in Ebenen, die Netzebenen genannt werden. Ihr Abstand voneinander heißt Netzebenenabstand.

Die Röntgenstrahlung wird nach dem Huygensschen Prinzip an den Netzebenen reflektiert.

Reflexion an den im Abstand d sich befindenden netzebenen tritt dann ein, wenn der Gangunterschied der Wellenstrahlung Δs ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist.

$$\Delta s = \overline{AB} + \overline{BC} = 2\overline{AB} = 2d \cdot \sin \varphi .$$

Die Winkel, bei denen eine merkliche reflektierte Strahlung gemessen werden kann, nennt man Glanzwinkel.

Daraus ergibt sich die **braggsche-Reflektion**:

$$2d \cdot \sin \varphi = n \cdot \lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Dabei ist d der Netzabstand und φ_n die Glanzwinkel.