

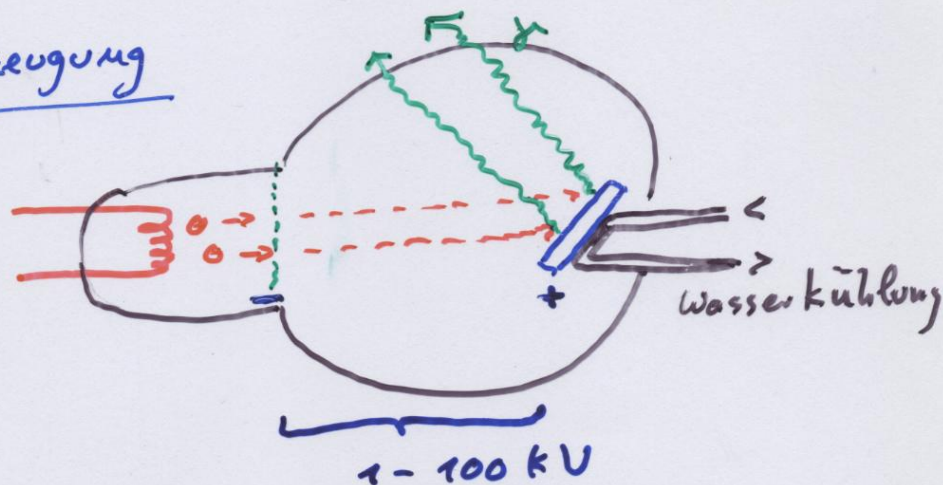
11.2 Röntgenspektren

[K. Röntgen 1895 x - Strahlen entdeckt,
strahlen unsichtbar, keine Ablenkung
im B-Feld, Refraktion in Kristallen.
1901 erster Physik-Nobelpreis]

1. Allgemeines

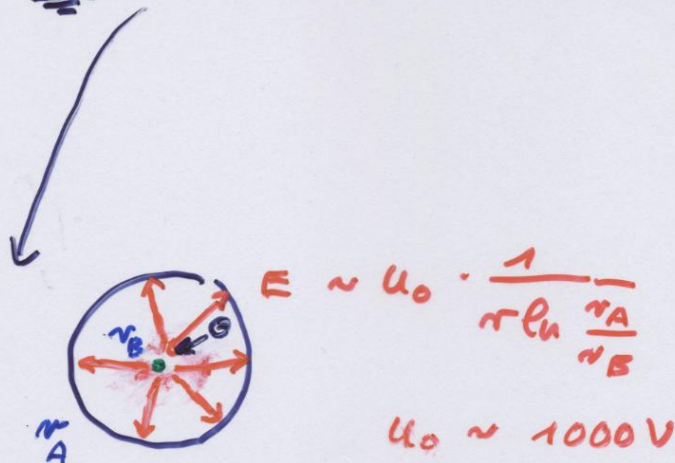
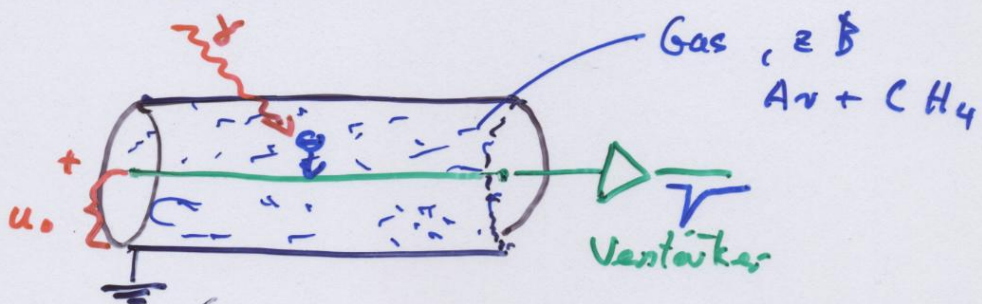
Licht mit $\lambda \sim 0,1 \dots 10 \text{ \AA}$
 $\hat{=} 100 \dots 10000 \text{ eV}$

a) Erzeugung



b) Nachweis

- Photoemulsionen
- Halbleiterdetektoren
- Zählrohr



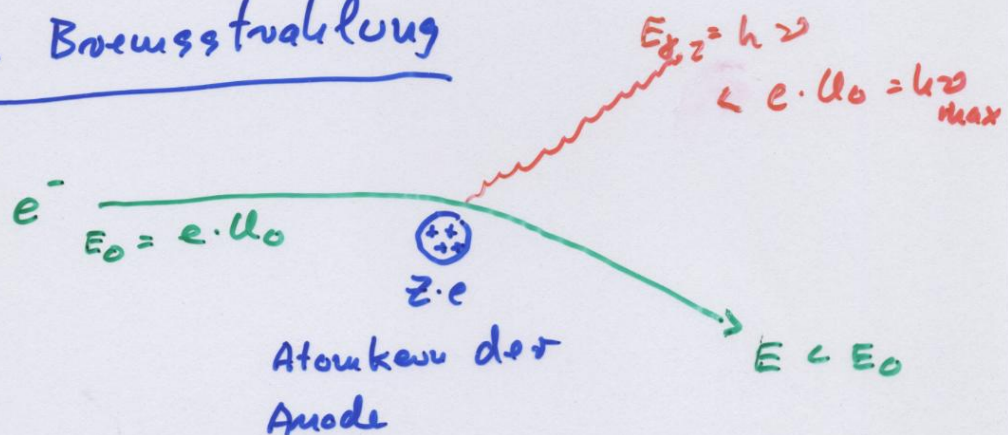
$$\left. \begin{array}{l} r_A \sim 0(\text{cm}) \\ r_B \sim 0(10\mu\text{m}) \end{array} \right\} E(r=r_B) \sim 50 \frac{\text{KV}}{\text{cm}}$$

Im Drahtnähe : Sekundärionisation
 = Ausbildung einer Elektronenlawine $\Rightarrow V \sim \dots 10^4$
 $\dots 10^6$

c) Anwendung : Materialforschung
 Medizin
 Chemie
 Oberflächenphysik

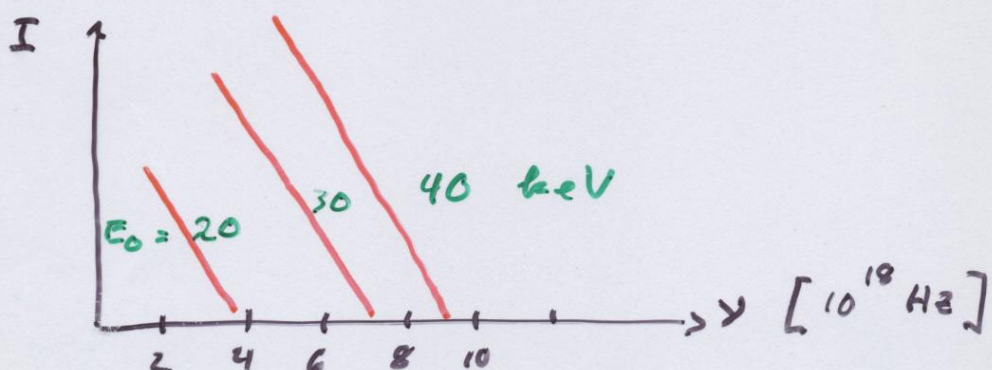
2] Physikalische Prozesse

a. Bremsstrahlung



Spektrum für Bremsstrahlung:

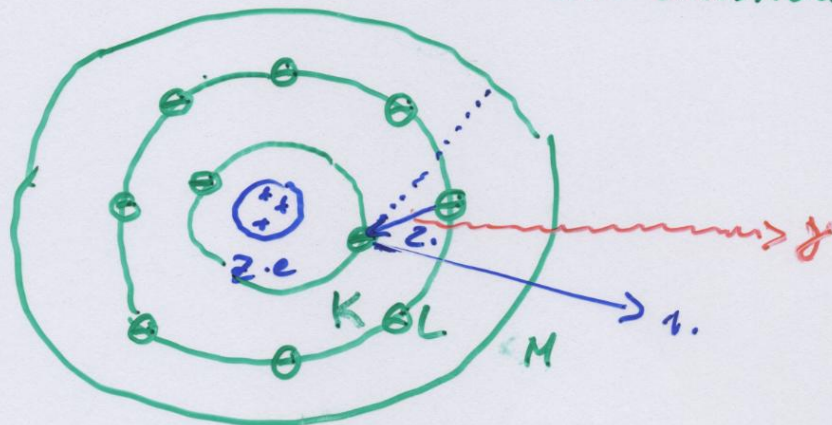
$$I(\nu) = I_0 \cdot Z (\nu_{\max} - \nu)$$



b. Charakteristische Strahlung

Für $E_0 \sim$ Bindungsenergie des e^-
in inneren Schale $\Rightarrow$ Ionisation

- Rekombination mit Emission



Bindungsenergien:

$$E_{K, L, M \dots} = -13,6 \text{ eV} (Z - s)^2 \cdot \frac{1}{n^2}$$

Korrigiert Abschirmung durch
Hüllenelektronen

Bs: Blei $Z = 82$: $\left. \begin{array}{l} K: s = 1 \\ L: s = 7,4 \end{array} \right\}$

$$E_K = (82 - 1)^2 \cdot 13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{1} \\ = 88 \text{ keV}$$

* K-Schale ionisiert:

$$L \rightarrow K : \nu_{K\alpha} = R \cdot (z-1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} R (z-1)^2$$

$$M \rightarrow K : \nu_{K\beta} = R (z-1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = \frac{8}{9} R (z-1)^2$$

⋮

* L-Schale ionisiert:

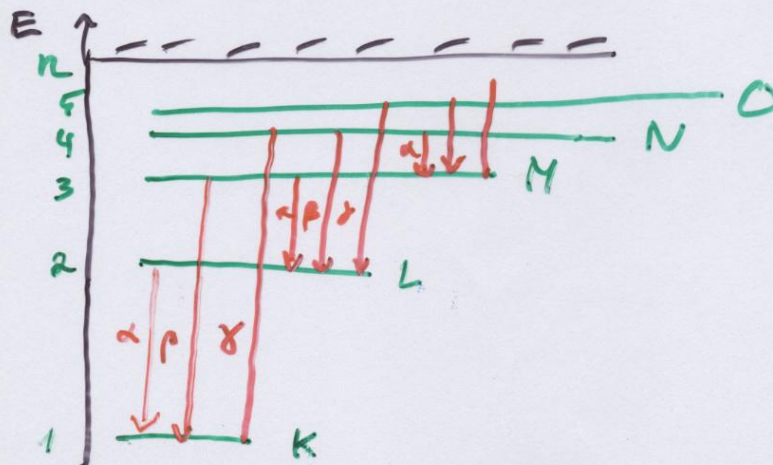
$$M \rightarrow L : \nu_{L\alpha} = R \cdot (z-7,4)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$= \frac{5}{36} \cdot R \cdot (z-7,4)^2$$

$$\nu_{L\beta} = \dots \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$$

⋮

Termenschema :



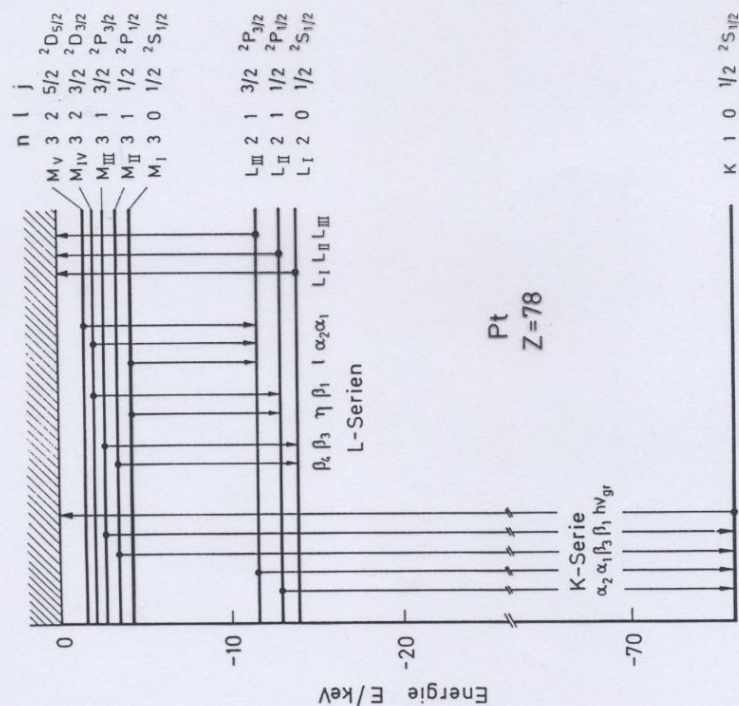
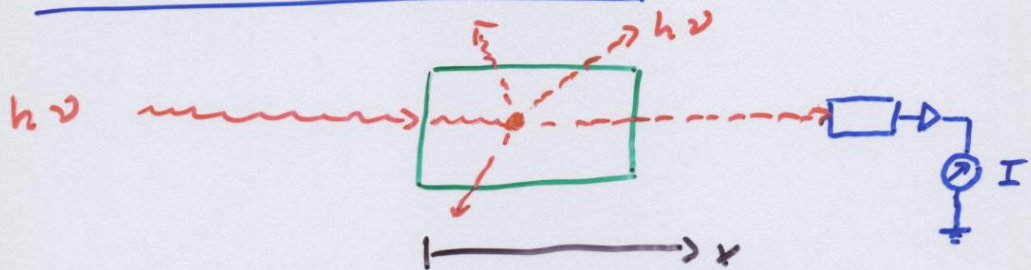


Abb. 18.10. Schema zur Feinstruktur der Röntgenspektren für eine Platin-Antikathode mit $Z = 78$. Die Bezeichnungen für die Serien, Linien und Quantenzahlen sind eingetragen. Nach oben gerichtete Pfeile bedeuten Absorption, nach unten gerichtete Emission. Die Verwendung der griechischen Buchstaben zur Kennzeichnung der Einzelelemente ist unsystematisch und in der Literatur nicht einheitlich. – Die Abstände zwischen den L -Unterschalen L_4 , L_{III} , L_{II} und den M -Unterschalen M_I – M_V sind nicht maßstäblich eingetragen. Sie beruhen bei gleichem l auf der normalen Dublett-Aufspaltung, sonst auf unterschiedlicher Abschirmung und sind deshalb unterschiedlich groß. Die Bezeichnung der Linien mit griechischen Symbolen ist historisch und nicht identisch mit der systematischen Bezeichnung in Abb. 18.9

c) Absorptionsspektren



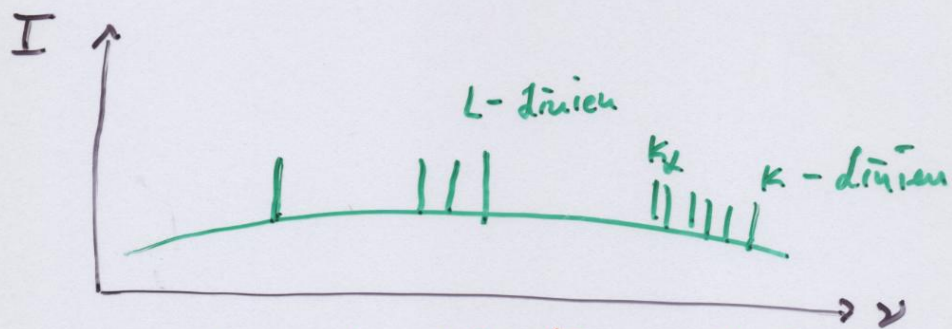
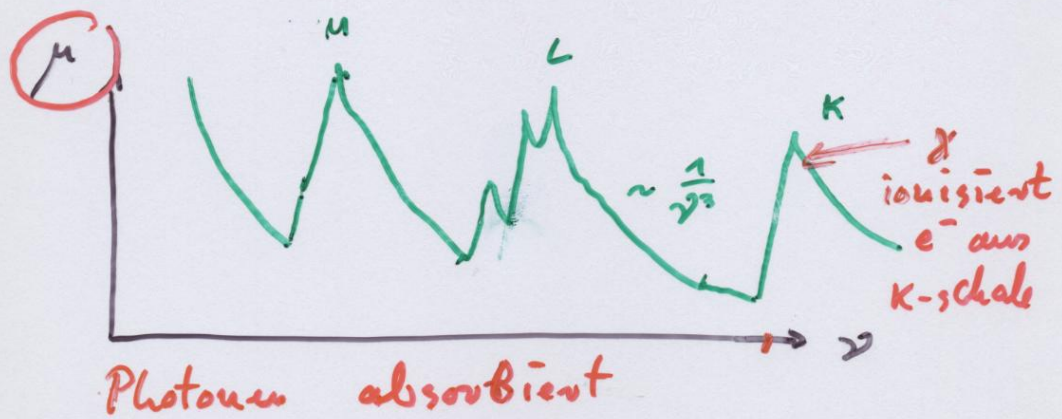
Bei Absorption: I nimmt ab

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

μ Absorptionskoeffizient
 $= \frac{Z^3 - 1}{(h\nu)^3}$
 $d = \frac{1}{\mu} \ln 2$ Halbwertsdicke:

$$I(d) = \frac{1}{2} I_0$$

Bei: $E_0 = 10 \text{ keV}$: $d(\text{Al}) = 10^{-2} \text{ cm}$
 $d(\text{Pb}) = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$
 $= 100 \text{ keV}$: $d(\text{Al}) = 1,6 \text{ cm}$
 $d(\text{Pb}) = 10^{-2} \text{ cm}$



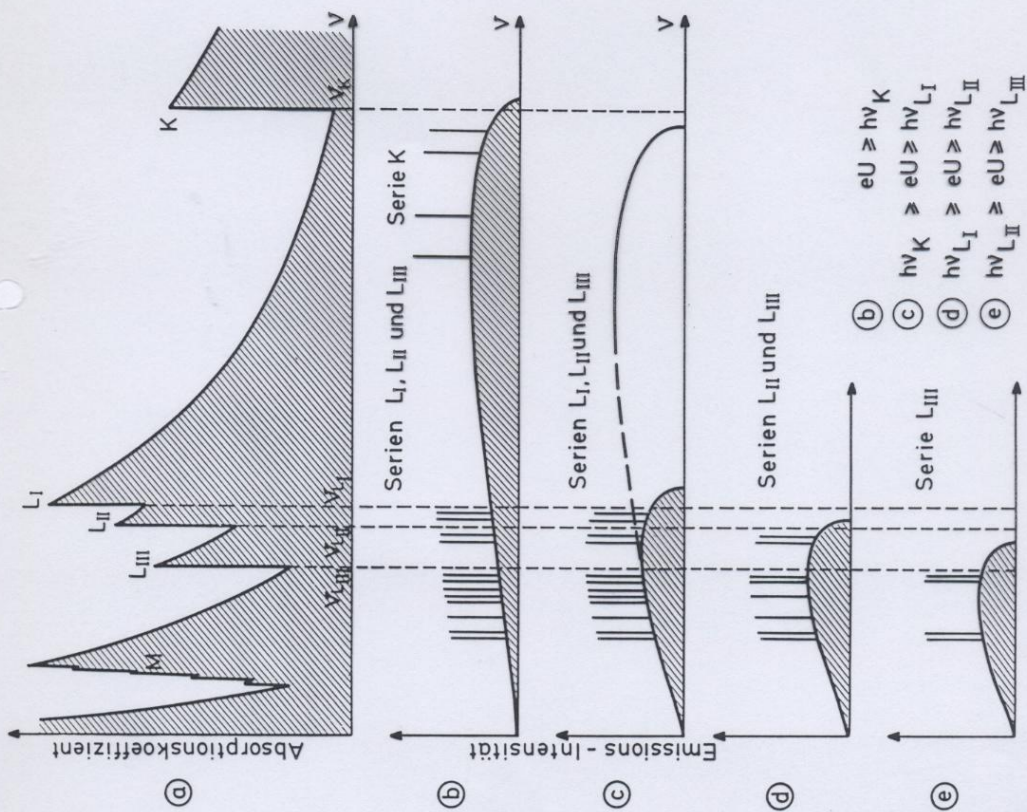
Nach Rekombination: Photon wird emittiert

Abb. 18.11a. Vergleich von Absorptions- und Emissionsspektren im Röntgengebiet.

a) Absorptionskoeffizient, z. B. von Platin, für Röntgenlicht als Funktion der Frequenz, schematisch. Das Absorptionsspektrum besteht hauptsächlich aus der Überlagerung der verschiedenen Absorptionskanten und Seriegrenzkontinua.

b-e) Emissionsspektrum von Platin bei verschiedenen Anregungen. Bei b werden alle Serien angeregt, bei c fehlt die K-Serie, bei d zusätzlich L_I , bei e zusätzlich L_{II} . Die Intensitätsverteilung im Kontinuum unterscheidet sich von derjenigen nach (18.1), weil die Strahlung mit zunehmender Wellenlänge zunehmend durch Reabsorption in der Antikathode geschwächt wird.

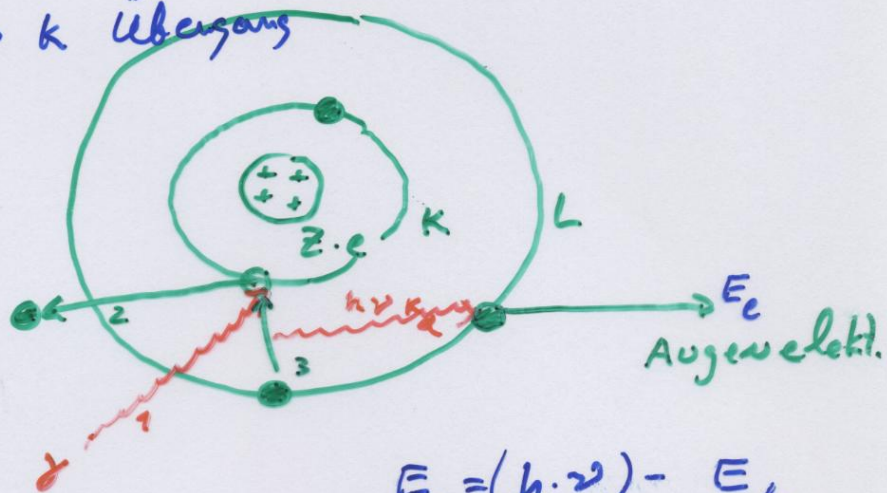
Bei Platin sind die Frequenzwerte der K-Kante ca. $19 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$, die von L_I ca. $3 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$



d) Auger - Effekt

statt Röntgenemission Ionisation:
Elektronenabstrahlung mit charakteristischer
Energie

Bs: $L \rightarrow K$ Übergang



$$E_e = (h \cdot \nu)_{K\alpha} - E_L$$

$$= E_K - E_L - E_L$$

$$= E_K - 2E_L$$

Ebenfalls höhere Übergänge möglich:

$$E_e = E_K - 2E_M$$
$$= E_K - 2E_N$$
$$\vdots$$