

# Röntgensäteily

- Kiihtyvässä (tai hidastuvassa liikkeessä) oleva varauksellinen hiukkanen lähettää sähkömagneettista säteilyä.
- Röntgensäteily syntyy röntgenputkessa *jarrutussäteilynä*.
  - Katodilta irronneet elektronit saavuttavat suuren nopeuden tasajännitteen kiihdyttämänä ja hidastuvat sitten hyvin nopeasti törmätessään anodiin.
- Törmäyksessä elektronien liike-energia voi muuttua kokonaan tai osittain säteilyksi.
- Tämän vuoksi säteilyssä voi esiintyä kaikkia aallonpituuksia tietyistä minimaallonpituudesta  $\lambda_{min}$  lähtien.

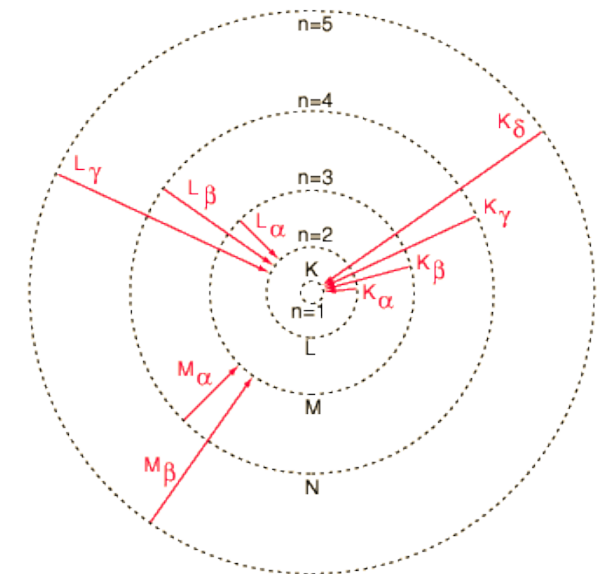
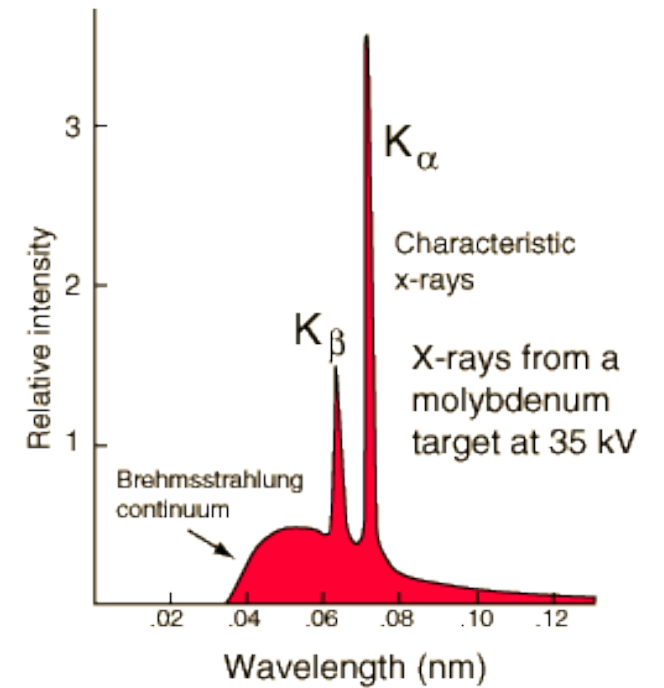
- Pienintä aallonpituutta vastaa kvantin suurin energia, jolloin koko sähkökentän elektronille tekemä työ  $W = eU$  muuttuu kvantin energiaksi.

$$E = hf_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} = eU$$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eU}$$

- Jarrutussäteily muodostaa jatkuvan *aallonpituusjakauman* eli *spektrin*, jonka minimaalinen aallonpituus riippuu vain kiihdytysjännitteestä (käänteisesti).
- Röntgensäteilyn spektrissä esiintyy usein myös intensiteetti-*piikkejä*.
- Tätä säteilyä kutsutaan röntgenputken *ominaissäteilyksi* eli *karakteristiseksi säteilyksi*.

- Intensiteettioppiikkien aallonpituudet riippuvat vain anodiaineesta.
- Piikit syntyvät, kun riittävän suurella jännitteellä kiihdytetyt elektronit *virittävät* törmäyksessä anodin atomeja.
  - Elektroni voi siirtyä esimerkiksi ydintä lähinnä olevalta K –kuorelta ylemmälle kuorelle (L, M, N)
- Viritystila ei ole pysyvä, vaan se purkautuu välittömästi ylemmän kuoren jonkin elektronin täyttäessä aukon.
  - Röntgensäteilyn aallonpituusalueella esiintyvät piikit syntyvät viritystilän purkautuessa takaisin K-kuorelle
- Siirtymä L – K on selvästi todennäköisin, joten sen intensiteettioppiikki  $K_{\alpha}$  on aina korkeampi ja suuremmalla aallonpituudella kuin muiden siirtymien.
  - M – K:  $K_{\beta}$
  - N – K:  $K_{\gamma}$



**t. 5.16, s. 81**

- a) Röntgensäteilyn spektrin jatkuva osa johtuu jarrutussäteilystä. Anodille törmäävän elektronin liike-energiasta  $E_k$  mikä tahansa osuus voi muuttua säteilykvantin energiaksi.

Elektroni saa liike-energiansa sähkökentän tekemästä työstä, joten  $E_k = eU$ .

Spektrin pienintä aallonpituutta  $\lambda_{min}$  vastaa tilanne, jossa törmäävän elektronin koko liike-energia on muuttunut säteilykvantin energiaksi  $E_{max} = hf_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$ .

$$\text{Siis } eU = \frac{hc}{\lambda_{min}} \Leftrightarrow U = \frac{hc}{e\lambda_{min}}$$

Kuvion perusteella  $\lambda_{min} \approx 60 \text{ pm}$ , joten  $U \approx 20\,664 \text{ V} \approx 21 \text{ kV}$ .

TI-Nspire:

$$\frac{h \cdot c}{e \cdot 60 \cdot 10^{-12} \cdot \text{m}}$$

20664.0330722 · V

b) Röntgensäteilyn spektrin intensiteetti- ja taajuuksipiikit johtuvat ominaissäteilystä. Sen avulla voidaan tunnistaa anodiaine.

Spektristä havaitaan, että  $K_{\alpha}$  -viivan aallonpituus on  $\lambda_{K_{\alpha}} \approx 154 \text{ pm}$ .

Aaltoliikkeen perusyhtälön  $f = \frac{c}{\lambda}$  avulla aallonpituutta vastaavaksi taajuudeksi saadaan  $f \approx 1,9467 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$ .

$$f := \frac{c}{154 \cdot 10^{-12} \cdot \text{m}}$$

$$1.94670427273\text{E}18 \cdot \text{Hz}$$

Ratkaistaan järjestysluku  $Z$  Moseleyn yhtälöstä  $f = (2,48 \cdot 10^{15} \text{ Hz})(Z - 1)^2$  laskinohjelmalla.

$$\text{solve}(f=2.48 \cdot 10^{15} \cdot \text{Hz} \cdot (z-1)^2, z) | z > 0$$

$$z=29.0171626025$$

Järjestyslukuksi saatiin  $Z = 29$ , joten anodi oli kuparia.

# Aineen rakenteen tutkiminen

- Teollisuudessa käytetään röntgensäteilyä laadun tarkkailussa esimerkiksi hitsausaumoja tutkittaessa
  - Viallisten kohtien läpi pääsee enemmän röntgensäteilyä
- PIXE-menetelmä (Particle Induced X-ray Emission)
  - Tutkittavaa ainetta säteilytetään suurienergisillä hiukkasilla
  - Kohdeaineen atomit virittyvät ja purkautuvat aineelle ominaisella röntgenspektrillä
  - Käytetään esim. väärennettyjen taulujen tunnistuksessa
- Röntgenfluoresenssi (ks. s. 75 esimerkki)
  - Kohdeainetta säteilytetään riittävän suurienergisellä röntgensäteilyllä ja tutkitaan aineen ominaissäteilyä

- Röntgendiffraktio
  - Käytetään kiderakenteisen aineen tutkimiseen (röntgensäteiden aallonpituus kidetasojen välimatkan suuruusluokkaa)
  - Riippuen heijastuskulmasta säteet joko vahvistavat tai heikentävät toisiaan (interferenssi) ja vahvistussuunnista saadaan tietoa kiteen muodosta
- Braggin laki: interferenssi on vahvistava kun  $2d \sin \theta = n\lambda$   
( $n$  = heijastuksen kertaluku)

