7 Kvanttimekaniikka ja aineen rakenteen tutkimus

c) i) Kiteen pintaan tarttuneita molekyylejä voidaan kuvantaa atomien tarkkuudella atomivoimamikroskoopilla (AFM) ja toisinaan tunnelointimikroskoopilla (STM). ii) Molekyylien orbitaalit voidaan saada näkyviin tunnelointimikroskoopilla (STM).

d) Teoreettisen fysiikan ennustama alkeishiukkanen voidaan havaita sirontakokein. Esimerkiksi Higgsin bosoni havaittiin sirontakokein.

7-7.

a) Spektroskooppisilla menetelmillä tutkitaan aineen kvantittuneita energiatiloja. Havaittujen säteilykvanttien energiat vastaavat näytteen energiatilojen erotuksia.

b) Tunnelointimikroskoopissa laitteen mittakärjen ja tutkitun näytteen elektronitilojen välille syntyy pieni kvanttimekaaniseen tunnelointi-ilmiöön perustuva sähkövirta. Näin ollen sillä voidaan myös kuvantaa aineen elektronien orbitaalien muotoja.

7-8.

Oikea vaihtoehto on 3 (52°).

Braggin laista $2d \sin\theta = n\lambda$ saadaan

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{2d} = \frac{1 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-10}\ \text{m}}{2 \cdot 89 \cdot 10^{-12}\ \text{m}} = 0{,}786517$$

$\theta \approx 52°$.

Ensimmäisen kertaluvun diffraktiomaksimi näkyy suunnassa 52°.

7-9.

Jokaisen kuvassa B olevan piikin kohdalta voidaan lukea säteilyn taajuus f. Piikkiä vastaavan säteilyn energia saadaan yhtälöstä $E = hf$:

$E_1 = hf_1 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\ \text{eVs} \cdot 6{,}25 \cdot 10^{18}\ \text{Hz} \approx 26\ \text{keV}$

$E_2 = hf_2 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\ \text{eVs} \cdot 5{,}6 \cdot 10^{18}\ \text{Hz} \approx 23\ \text{keV}$

$E_3 = hf_3 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\ \text{eVs} \cdot 3{,}05 \cdot 10^{18}\ \text{Hz} \approx 13\ \text{keV}$

$E_4 = hf_4 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\ \text{eVs} \cdot 2{,}7 \cdot 10^{18}\ \text{Hz} \approx 11\ \text{keV}$

$E_5 = hf_5 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\ \text{eVs} \cdot 0{,}8 \cdot 10^{18}\ \text{Hz} \approx 3\ \text{keV}$

$E_6 = hf_6 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\ \text{eVs} \cdot 0{,}5 \cdot 10^{18}\ \text{Hz} \approx 2\ \text{keV}$.

© Jenni Andersin, Pentti Frondelius,
Jari Latva-Teikari, Heikki Lehto ja Sanoma Pro 2023

7 Kvanttimekaniikka ja aineen rakenteen tutkimus

$E = hf \Rightarrow f = \frac{E}{h}$

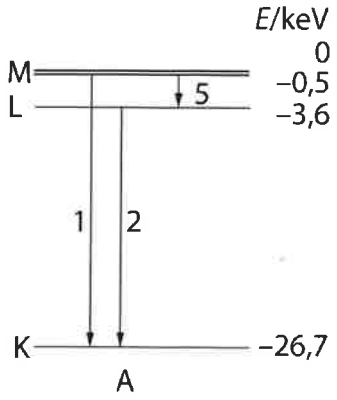
Lasketaan energiatasokaaviosta (A) eri tasojen väliset energiaerot:

$E_M - E_K = -0{,}5\text{ keV} - (-26{,}7\text{ keV}) = 26\text{ keV}$, kvantin taajuus $f = 6{,}4 \cdot 10^{18}$ Hz (1)

$E_L - E_K = -3{,}6\text{ keV} - (-26{,}7\text{ keV}) = 23\text{ keV}$, $f \approx 5{,}6 \cdot 10^{18}$ Hz (2)

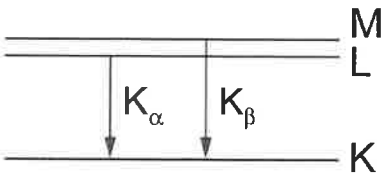
$E_M - E_L = -0{,}5\text{ keV} - (-3{,}6\text{ keV}) = 3{,}2\text{ keV}$. $f \approx 0{,}8 \cdot 10^{18}$ Hz (5)

huomataan, että piikit 1, 2 ja 5 vastaavat (mittaustarkkuuden rajoissa) oheisessa piirroksessa merkittyjä siirtymiä. Kadmiumin aiheuttamia piikkejä ovat siis piikit 1,2 ja 5.



7-10.

a) Kun gammakvantilla on riittävästi energiaa, se pystyy irrottamaan elektronin näytteen kohtioatomin sisäkuorelta, esim. K-kuorelta. Elektroni nousee jollekin ulommalle kuorelle. Ulommalta kuorelta, kuten L- tai M-kuorelta, elektroni putoaa välittömästi syntyneeseen aukkoon. Energia vapautuu röntgensäteilynä. Syntyvän röntgenkvantin energia voi olla $hf_1 = E_L - E_K$, joka vastaa siirtymää K_α tai $hf_2 = E_M - E_K$ (K_β).



Kullakin alkuaineella on sille ominaiset kvanttien energiat ja ominainen röntgenspektri, jonka perusteella alkuaine ja sen määrätkin voidaan tunnistaa.

b) Spektrikuvasta saadaan piikkien taajuuksiksi $1{,}9 \cdot 10^{18}$ Hz, $2{,}1 \cdot 10^{18}$ Hz, $3{,}6 \cdot 10^{18}$ Hz, $4{,}0 \cdot 10^{18}$ Hz, $7{,}7 \cdot 10^{18}$ Hz ja $8{,}7 \cdot 10^{18}$ Hz. Lasketaan taajuuksia vastaavat energiat, verrataan niitä taulukon energioihin ja päätellään, mitä alkuaineita suprajohde sisältää:

Havaittuja taajuuksia vastaavat energiat	Alkuaine
$E_1 = hf_1 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\text{ eVs} \cdot 1{,}9 \cdot 10^{18}\text{ Hz} \approx 7{,}9\text{ keV}$	Cu
$E_2 = hf_2 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\text{ eVs} \cdot 2{,}1 \cdot 10^{18}\text{ Hz} \approx 8{,}7\text{ keV}$	Cu
$E_3 = hf_3 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\text{ eVs} \cdot 3{,}6 \cdot 10^{18}\text{ Hz} \approx 14{,}9\text{ keV}$	Y
$E_4 = hf_4 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\text{ eVs} \cdot 4{,}0 \cdot 10^{18}\text{ Hz} \approx 16{,}5\text{ keV}$	Y
$E_5 = hf_5 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\text{ eVs} \cdot 7{,}7 \cdot 10^{18}\text{ Hz} \approx 31{,}8\text{ keV}$	Ba
$E_6 = hf_6 = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\text{ eVs} \cdot 8{,}7 \cdot 10^{18}\text{ Hz} \approx 36{,}0\text{ keV}$	Ba

Suprajohde sisältää ainakin kuparia, yttriumia ja bariumia.

© Jenni Andersin, Pentti Frondelius,
Jari Latva-Teikari, Heikki Lehto ja Sanoma Pro 2023

7-11.

$h = 6{,}62608 \cdot 10^{-34}$ Js, $n = 1$, $\theta = 65°$, $m = 9{,}10939 \cdot 10^{-31}$ kg, $E_{kin} = 54$ eV $= 54 \cdot 0{,}160218$ aJ

Braggin laista $2d \sin\theta = n\lambda$ saadaan kiteiden atomitasojen välimatkaksi

$$d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta}.$$

Elektronien aallonpituus on de Broglien aallonpituus $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$.

Elektronien nopeus saadaan yhtälöstä $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$ eli $v = \sqrt{\frac{2E_{kin}}{m}}$.

Sijoittamalla elektronin aallonpituuden ja nopeuden yhtälöt Braggin laista saatuun atomitasojen välimatkan yhtälöön saadaan

$$d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} = \frac{nh}{2mv\sin\theta} = \frac{nh}{2\sin\theta\sqrt{2mE_{kin}}}$$

$$= \frac{1 \cdot 6{,}62608 \cdot 10^{-34}\ \text{Js}}{2 \cdot \sin 65° \sqrt{2 \cdot 9{,}10939 \cdot 10^{-31}\ \text{kg} \cdot 54 \cdot 0{,}160218\ \text{aJ}}} \approx 92\ \text{pm}.$$

7-12.

8.1. Röntgenputkessa katodin ja anodin välillä on jännite, ja siten sähkökenttä, joka kiihdyttää elektroneja kohti anodia. Elektronit pysähtyvät nopeasti törmätessään anodiin. Tällöin niiden liike-energiaa muuntuu sähkömagneettisen säteilyn energiaksi ja syntyy röntgensäteilyä. Elektronien jarrutukseen liittyvää röntgenspektrin jatkuvaa osaa kutsutaan jarrutussäteilyksi.

Toisaalta anodiin osuvat elektronit voivat myös virittää anodimateriaalin atomeja. Viritystilan purkautuessa emittoituu säteilykvantti, jonka energia vastaa atomin energiatilojen erotusta. Syntynyttä säteilyä kutsutaan karakteristiseksi röntgensäteilyksi eli ominaissäteilyksi, ja se näkyy röntgenspektrissä selkeinä piikkeinä. Anodimateriaali on tunnistettavissa sen emittoiman ominaissäteilyn perusteella.

8.2. Röntgensäteilyn kvantit siroavat hiukkassäteilyn tavoin kiteen atomeista. Kun kidettä säteilytetään röntgensäteilyllä, tiettyihin suuntiin heijastuneet säteet vahvistavat toisiaan. Säteilymaksimit (diffraktiomaksimit) syntyvät niihin suuntiin, joissa kiteen eri atomeista heijastuneet aallot vahvistavat toisiaan eniten. Vahvistussuunnista saadaan tietoa kiteen rakenteesta, eli siitä, millaiseen säännölliseen järjestykseen atomit ovat järjestyneet aineessa. Näin ollen menetelmä sopii vain rakenteeltaan järjestyneen aineen tutkimukseen.

- kiinteä aine, jolla on säännöllinen kiderakenne

7-13.

a) Tutkimuksessa käytettiin röntgenfluoresenssianalyysiä (XRF).

b) XRF-menetelmässä viritetään tutkitun näytteen atomeja röntgen- tai gammasäteilyn fotonien avulla. Viritystilat purkautuvat röntgensäteilyn aallonpituusalueella ja syntyy karakteristista röntgensäteilyä, jonka spektri voidaan mitata. Havaittujen säteilykvanttien energiat vastaavat näytteen alkuaineille ominaisten energiatilojen erotuksia. Näin ollen näytteen alkuainekoostumus voidaan määrittää.

© Jenni Andersin, Pentti Frondelius,
Jari Latva-Teikari, Heikki Lehto ja Sanoma Pro 2023

sanoma pro