

# KVANTTIUTUMINEN

1 Valo aaltona ja fotoneina

2 Valosähköilmiö

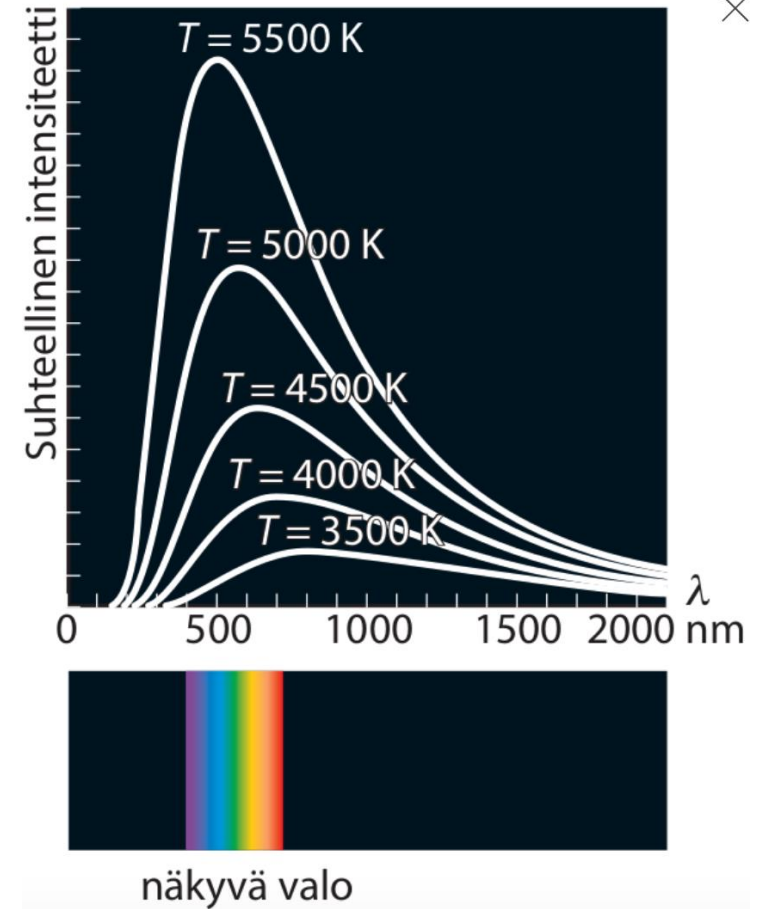
3 Dualismi

4 Elektronin aalto-ominaisuudet

# 1 VALO AALTOINA JA FOTONEINA

## MUSTAN KAPPALEEN SÄTEILY:

- Täydellinen musta kappale on malli, joka kuvaa sellaisen kappaleen ominaisuuksia, joka absorboi (imee) kaiken siihen osuvan säteilyn.
- Kun musta kappale on lämpötasapainossa ympäristönsä kanssa, se emittoi (lähettää) saman määrän säteilyenergiaa kuin absorboi.
- Mustan kappaleen spektri riippuu kappaleen lämpötilasta.



- Saksalainen Wilhelm Wien johti vuonna 1894 mustan kappaleen lähettämälle säteilylle lain, jota kutsutaan Wienin siirtymälainiksi

$$T\lambda_{max} = b$$

jossa

$T$  = kappaleen lämpötila

$\lambda_{max}$  = säteilyn intensiteettimaksimia vastaava aallonpituus

$b$  = Wienin siirtymälain vakio  $2,897756 \cdot 10^{-3} m \cdot K$

**Esim.** Auringon lähettämän sähkömagneettisen säteilyn intensiteettimaksimi on aallonpituudella 500 nm. Mikä auringon pintalämpötila on?

## PLANCKIN KVANTTIHYPOTEESI:

- Max Planck huomasi, että aine ottaa vastaan ja luovuttaa sähkömagneettista säteilyä vain tietynsuuruisina energia-annoksina eli kvantteina.
- Kvantin energia on

$$E = hf,$$

jossa

$f$  = säteilyn taajuus

$h$  = Plancin vakio =  $6,6260693 \cdot 10^{-34} Js = 4,1356654 \cdot 10^{15} eVs$

- Kvantin energian yksikkönä käytetään yleensä elektronivolttia

$$1eV = 1,6021766 \cdot 10^{-19} J$$

## VALON KVANTTITEORIA:

- Albert Einstein laajensi Planckin teoriaa: sähkömagneettinen säteily koostuu fotoneista.
- Fotoni on massaton hiukkanen ja liikkuu valon nopeudella
- Fotonin energia on

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

ja liikemäärä

$$p = \frac{h}{\lambda}$$



Esim. Sähkömagneettisen säteilyn fotonin energia on 1,1 eV. Laske säteilyn taajuus ja aallonpituus tyhjiössä.

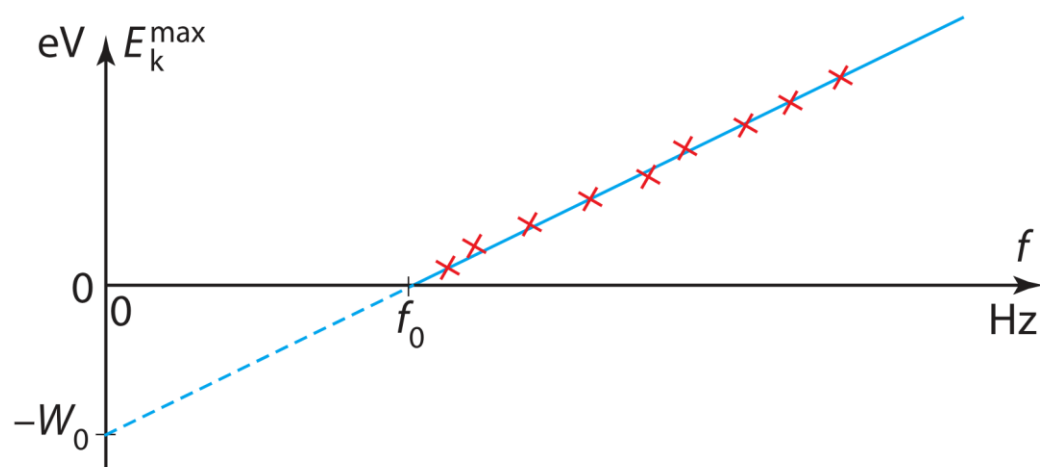
## 2 VALOSÄHKÖILMIÖ

- Heinrich Hertz huomasi 1887, että ultraviolettivalo irrotti varauksia metallin pinnasta.
- Sähkömagneettisen säteilyn (valon) aiheuttamaa elektronien irtoamista metallin pinnasta kutsutaan valosähköilmiöksi.
- Vuonna 1900 Philip Lenard oivalsi, ettei irtoavien elektronien liike-energia riipu valon intensiteetistä vaan taajuudesta.
- Vuonna 1905 Einstein selitti valosähköilmiön valon kvanttiteorian avulla ja sai siitä lopulta vuonna 1921 fysiikan Nobelin palkinnon.
  - Kohdatessaan elektronin fotoni luovuttaa sille energiansa ja häviää. Osa säteilyn energiasta kuluu elektronin irrottamiseen metallista ja loppu ilmenee elektronin liike-energiana.
- Valosähköilmiö on osoitus säteilyn kvantittumisesta.

# IRROTUSTYÖ JA ENERGIAYHTÄLÖ

- Pienintä energiaa, joka valosähkötyössä tarvitaan elektronin irrottamiseen metallista kutsutaan irrotustyöksi  $W_0$ . Irrotustyön arvo on kullekin metallille ominainen.
- Valosähköilmiössä irronneen elektronin suurin mahdollinen liike-energia on

$$E_k^{max} = hf - W_0$$



$$E_k^{max} = hf - W_0$$

$$\text{vrt. } y = kx + b$$

- Jos valosähköilmiön mittaustulokset esitetään  $f, E_k^{max}$  - koordinaatistossa
- Suoran ja f- akselin leikkauspisteestä saadaan rajataajuus  $f_0$
  - Irrotustyö  $W_0$  on suoran jatkeen ja  $E_k^{max}$  - akselin leikkauskohdan itseisarvo-





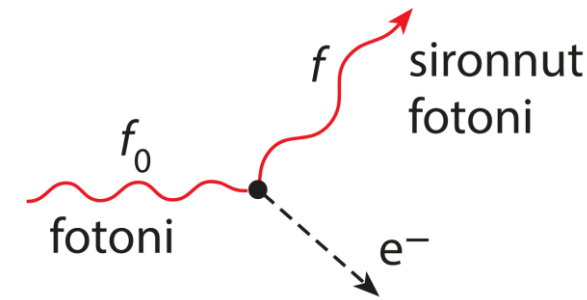
**Esim.** Natriumin irrotustyö on  $2,75 \text{ eV}$ . Laske

a) Valosähköilmiön rajataajuus natriumille

b) Elektronien maksimi liike-energia, kun natriumia valaistaan valolla, jonka aallonpituus on  $300 \text{ nm}$ .

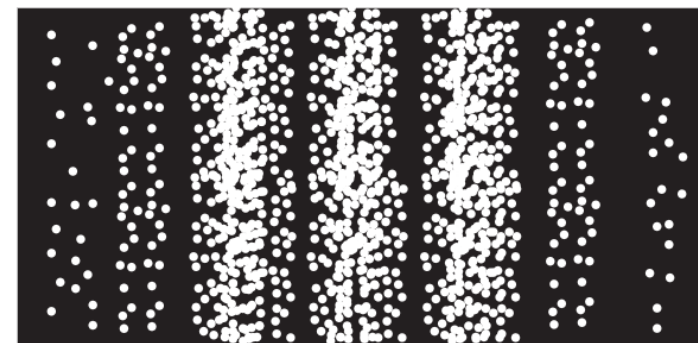
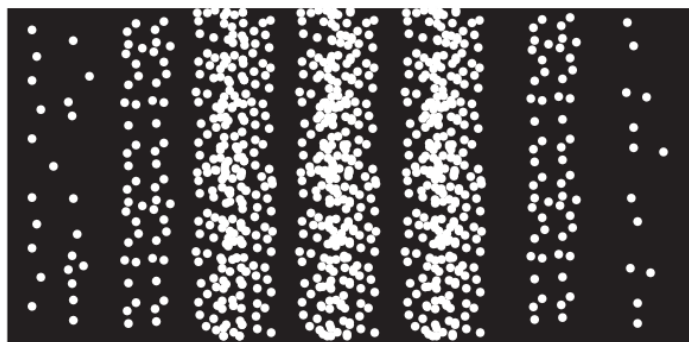
## Comptonin sironta

- Kun fotoni törmää kimmoisasti elektroniin, osa fotonin energiasta muuttuu elektronin liike-energiaksi.
- Elektronin saama liike-energia on  $E_k = hf_0 - hf$ , jossa  $f_0$  on tulevan säteilyn taajuus ja  $f$  sironneen säteilyn taajuus.

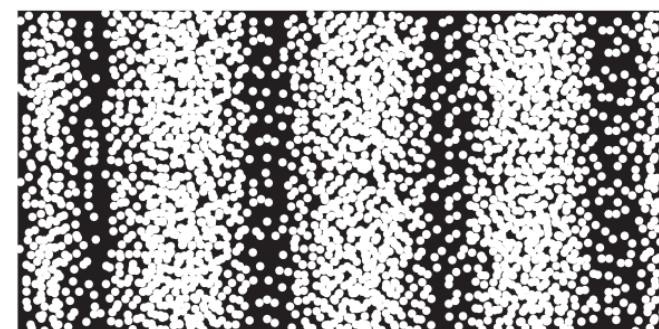
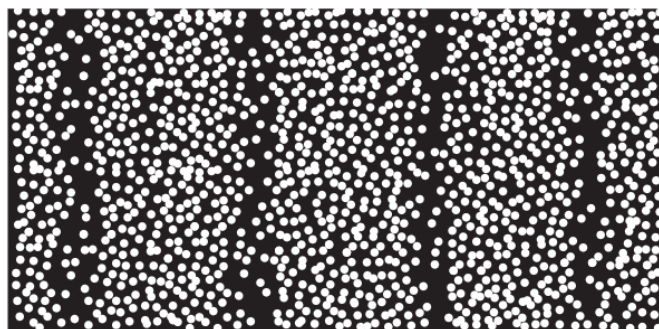
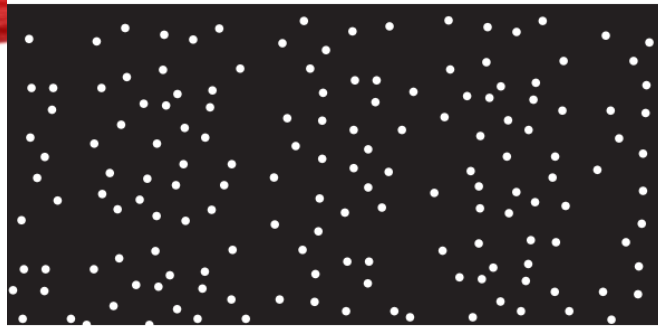


**Esim.** Metallin pintaan osuu sähkömagneettista säteilyä, jonka taajuus on  $6,4 \cdot 10^{21} \text{ Hz}$ . Pinnasta sironneen säteilyn taajuuden havaittiin muuttuneen arvoon  $1,9 \cdot 10^{21} \text{ Hz}$ . Kuinka suuren liike-energian vapaa elektroni saa säteilyltä?

## 3.DUALISMI



- Kaksoisrakokokeessa valolla fluoresoivalle pinnalle syntyy interferenssi kuvio vasta riittävän pitkän ajan kuluttua. Alussa nähdään vain yksittäisiä fotonien osumakohtia siellä täällä.
- Koe osoittaa, että valo ei käyttäydy kuin klassisen fysiikan aalto.



- Elektroneilla suoritettu kaksoisrakokoe antaa samanlaisia tuloksia kuin valolla suoritettu.
- Koe osoittaa ettei elektroni käyttäydy kuin klassisen fysiikan hiukkanen.
- Elektroneilla on aaltojen piirteitä.

Aaltohiukkasdualismin mukaan kaikilla säteilylajeilla ja hiukkasilla on sekä hiukkasille että aaltoliikkeelle ominaisia piirteitä.

## De Broglien lait:

Hypoteesissaan De Broglie esitti, että

- aineella ja säteilyllä on molemmilla sekä hiukkassuihkuille että aaltoliikkeelle ominaisia piirteitä
  - hiukkasta voidaan kuvata aaltona, jolla on tietty aallonpituus
  - hiukkasjoukon etenemistä voidaan tarkastella aalto-opin perusteella
  - hiukkasta kuvaavan aaltofunktion aallonpituus on  $\lambda = \frac{h}{p}$ .
- 
- De Broglien lain mukaan säteilyn liikemäärälle ja energialle on voimassa seuraavat yhtälöt:

$$p = \frac{h}{\lambda} \text{ ja } E = hf.$$

Esim. Selvitä de Broglien lakien avulla elektronin aallonpituus, kun elektronien nopeus on  $4,35 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ .

Esim. Elektronisuihku on kiihdytetty röntgenputkessa 2,2 kV:n jännitteellä. Laske elektronien aallonpituus.

# 4. ELEKTRONIN AALTO-OMINAISUUDET

Esim. Elektronisuihku on kiihdytetty röntgenputkessa 2,2 kV:n jännitteellä. Laske elektronien aallonpituus.