

Aine ja säteily

Kvanttiutuminen

Valo aaltona ja fotoneina

- ▶ Valo on **sähkömagneettista säteilyä**, joka etenee tyhjiössä aina **valonnopeudella**. Valoa muodostuu, kun varattujen hiukkasten liiketila muuttuu, esim. elektronien **jarrutussäteilyssä**.
- ▶ Kappaleet säteilevät ympäriinsä jatkuvasti säteilyä, joka riippuu kappaleen lämpötilasta. Tätä säteilyä kutsutaan **mustan kappaleen säteilyksi**. Klassinen fysiikka ei pystynyt selittämään mustan kappaleen **spektriä**.
- ▶ Max Plank ratkaise ongelman olettamalla, että energia voi esiintyä vain tietyn suuruusina paketteina, **kvantteina**. Valon kohdalla näitä paketteja kutsutaan **fotoneiksi**.

- Fotonin energia:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad ; f = \text{taajuus (Hz)}, h = \text{Plankin vakio}, c = \text{valonnopeus}, \lambda = \text{aallonpituus}$$

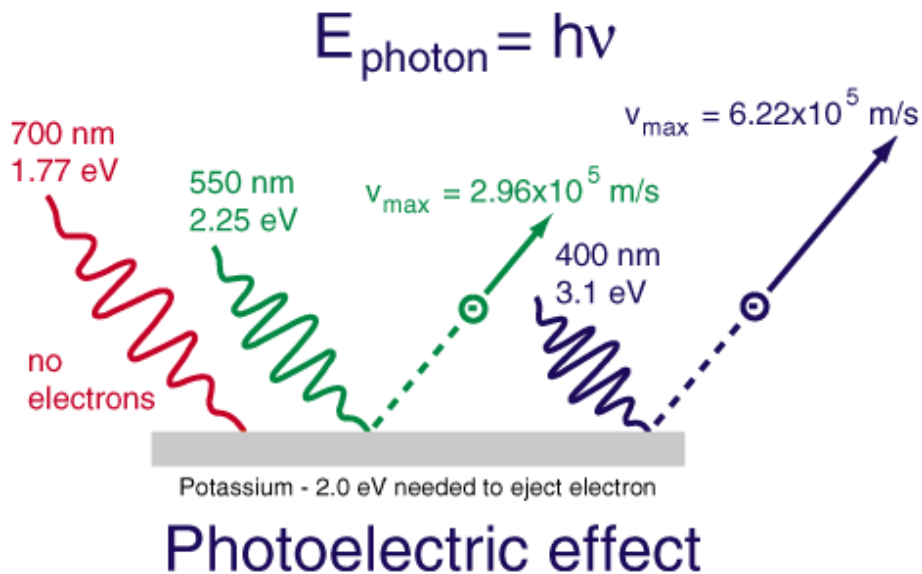
- Koska fotoni käyttäytyy myös hiukkasen tapaan, sillä on liikemäärää.

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c} = \frac{E}{c} \quad \text{Huom: } E = mc^2 \rightarrow p = \frac{E}{c} = \frac{mc^2}{c} = mc \quad \begin{array}{l} \text{klassisen esitys} \\ \text{liikemäärälle} \end{array}$$

- Fotonien liikemäärä käy ilmi esim. säteilypaineen kohdalla, joka estää tähtiä romahtamasta painovoiman vaikutuksesta.

Valosähköilmiö

- ▶ Valon hiukkasluonne (fotonit) tulee hyvin esille tilanteissa, joissa valo reagoi elektronien kanssa. Kun fotoni osuu atomin elektroniin, se voi heittää elektronin kuorelta pois, mutta vain jos yksittäisen fotonin energia on tarpeeksi suuri.



- ▶ Punaisen valon energia on liian pieni irrottamaan elektronia.
- ▶ Lyhytaaltoisemmat ja näin ollen energettisemmät vihreä ja sininen valo kykenee irrottamaan elektroneja metallin pinnasta.
- ▶ Irronneen elektronin saama liike-energia riippuu fotonin energiasta ja **irrotustyöhän** vaadittavasta energiasta.

$$E_k^{\text{max}} = hf - W_0; \quad W_0 = \text{irrotustyö}$$

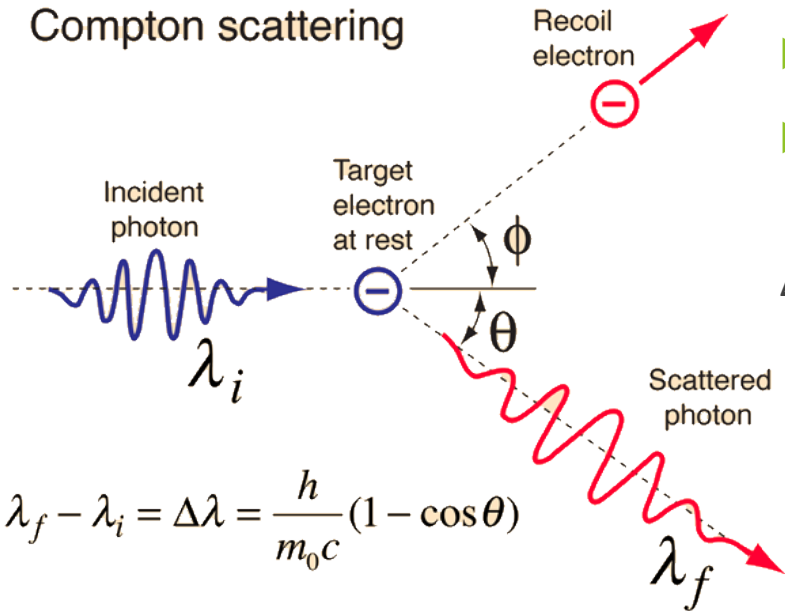
- ▶ Taajuus, jolla elektroneja alkaa irtoamaan, kutsutaan **rajataajuudeksi**.

$$hf_0 = W_0 \Rightarrow f_0 = \frac{W_0}{h}$$

- ▶ Rajataajuudella elektronille ei jää liike-energiaa.

- ▶ **Comptonin ilmiössä** (Comptonin siroinnassa) fotoni törmää elektroniin ja kimpoaa eri suuntaan.
- ▶ Törmäyksessä osa fotonin energiasta siirtyy elektronille, jolloin fotonin aallonpituus kasvaa.

Compton scattering



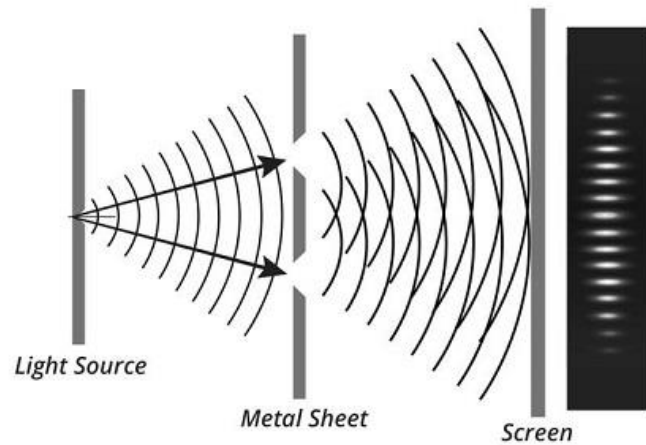
▶ Törmäyksessä liikemäärä säilyy.

▶ Comptonin siroinnassa aallonpituuden muutos voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} \cdot (1 - \cos\theta)$$

Dualismi

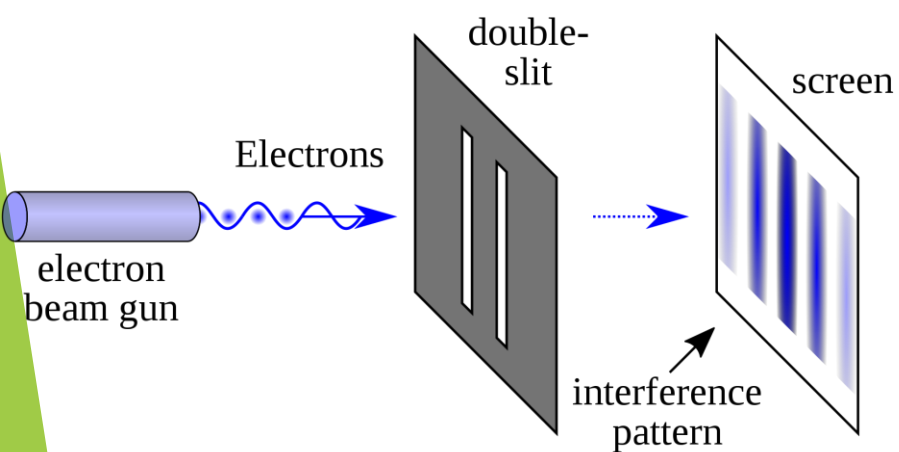
- ▶ Valolla on hiukkasluonnetta, kuten valosähköilmiö osoittaa. Mutta valolla on myös aaltoluonne, joka voidaan osoittaa kaksoisrakokokeen avulla.



- ▶ Interferenssikuvio muodostuu, vaikka raosta kulkisi 1 fotoni kerralla. Nykyisen selityksen mukaan fotoni kulkee molempien rakojen läpi, ja muodostaa keskenään interferenssikuvion.

- ▶ Kun ammuimme elektronisuihkun kaksoisrakoon, havaitsemme saman interferenssikuvion kuin valolla.

- ▶ **Elektroneilla on aaltoluonne!**



- ▶ Sekä fotonien että elektronien kohdalla havaitaan **aaltohiukkasdualismi**, eli ne käyttäytyvät kuin aalto ja hiukkaset.
- ▶ Elektronien ja muiden hiukkasten aallonpituus voidaan laskea de Broglie'n kaavan avulla:

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

Elektronien aalto-ominaisuudet

- ▶ Koska elektroneilla on duaalinen luonne, voimme käyttää niitä aineen tutkimiseen valon sijasta. Elektronien etuna on niiden aallonpituuden helppo säätely ([sähkökentän avulla](#)) ja ohjaaminen ([magneettikentän avulla](#)).
- ▶ Tästä syystä elektronimikroskoopilla voidaan saavuttaa jopa miljoona kertainen suurennos perinteiseen mikroskooppiin nähden.