

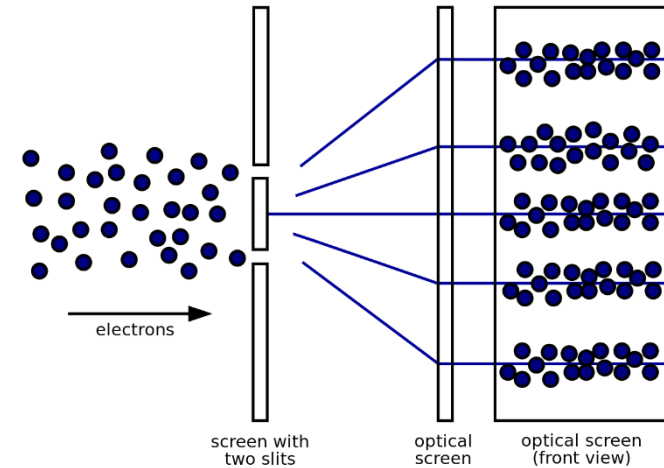
Aalto-hiukkasdualismi

- Sähkömagneettisella säteilyllä ja aineella on molemmilla sekä aaltoliikkeen, että hiukkasten ominaisuuksia
- Valon duaalinen luonne:
 - Aaltomalli
 - Interferenssi ja diffraktio (kaksoisrakokoe, hilat)
 - Polarisaatio
 - Suureita: Aallonpituus, amplitudi ja taajuus
 - Hiukkasmalli
 - Valosähköinen ilmiö
 - Mustan kappaleen säteily
 - Comptonin sironta
 - Suureita: Fotonin liikemäärä ja energia

- Hiukkasten duaalinen luonne:

- Aaltomalli

- Elektronien (tai muidenkin hiukkasten) käyttäytyminen kaksoisrakokokeessa. Kyseessä on interferenssi ja diffraktioilmiö.
 - Elektronien sironnassa syntyy interferenssikuvio.
 - Interferenssikuvio muodostuu vaikka elektronit saapuisivat kaksoisrakoon yksitellen!



- Hiukkasmalli

- Hiukkasten törmäykset noudattavat Newtonin mekaniikkaa (kuten esim. biljardipallot)
 - Elektronit etenevät sähkö- ja magneettikentissä kuten varatut hiukkaset

De Broglien aallot

- Louis de Broglie esitti vuonna 1924, että aaltohiukkasdualismi koskee myös muitakin hiukkasia kuin valon fotoneja
- Siis myös hiukkasia voidaan mallintaa aaltoina (aaltofunktiolla)
- Hiukkasen aallonpituuden λ ja liikemäärän p välillä on sama yhteys $p = \frac{h}{\lambda}$ kuin fotonin aallonpituudella ja liikemäärällä.
- Massalliselle (massa = m) hiukkaselle de Broglien aallon (eli aineaallon) aallonpituus saadaan siis kaavalla

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

t. 6.8, s. 94

a) Elektronin de Broglie'n aallonpituus on

$$\lambda_e = \frac{h}{p_e} = \frac{h}{m_e v_e} \approx 8,87 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 89 \text{ pm}$$

b) Merkitään protonin aallonpituus yhtä suureksi kuin elektronin aallonpituus:

$$\lambda_p = \frac{h}{m_p v_p} = \frac{h}{m_e v_e}$$

Tästä saadaan ratkaistua protonin nopeus:

$$m_p v_p = m_e v_e \Leftrightarrow v_p = \frac{m_e}{m_p} v_e \approx 4500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c) Kiihdytetään jännitteellä U hiukkasta, jonka massa on m ja varaus e .

Tällöin työperiaatteen mukaisesti sähkökentän tekemä työ $W = eU$ on hiukkasen liike-energian muutoksen suuruinen. Kun oletetaan hiukkasen lähtevän liikkeelle levosta, pätee yhtälö

$$eU = \frac{1}{2} m v^2.$$

TI-Nspire:

$$v := \frac{8.2 \cdot 10^6 \cdot \text{m}}{\text{s}} \quad 8200000. \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda := \frac{\text{h}}{\text{Me} \cdot v} \quad 8.87060378446 \text{E-}11 \cdot \text{m}$$

$$\frac{\text{Me}}{\text{Mp}} \cdot v \quad 4465.85957617 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kiihdytetyn hiukkasen nopeudeksi saadaan $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

ja de Broglien aallonpituus $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{m\sqrt{\frac{2eU}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2emU}}$.

Lausekkeesta huomataan, että aallonpituus on kääntäen verrannollinen massan neliöjuureen. Elektronilla on siis suurempi aallonpituus, koska sen massa on selvästi pienempi.

Dualismi ja aineen rakennetutkimus

- Optisen mikroskoopin erotuskykyä rajaa valon aallonpituus
 - Parhaimmillaan n. 1000-kertainen suurennos
 - Ei riitä aineen rakennetutkimukseen
- Aineen rakennetta tutkitaan tyypillisesti sirontakokein
 - *Elektronimikroskopian* perustana de Broglien aaltoteoria
 - Valon sijasta käytetään elektronisuihkua
 - Kiihdytys sähkökentillä, ohjaus magneettikentillä (ns. magneettilinssi)
 - Jopa miljoonakertainen suurennos
- Aineen kiderakenteen tutkimuksessa voidaan hyödyntää hiukkassuihkun (elektronien tai ns. *termisten neutronien*) diffraktiota