

# Kvanttimekaniikka ja suhteellisuusteoria

1. Mikä on Wienin siirtymälain mukainen aallonpituusmaksimi hehkulampulla, jonka lämpötila on 6000 K.
2. Planckin säteilylain mukaan säteilyn intensiteetti noudattaa jakaumaa

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

Tutki säteilyn jakaumaa eri lämpötiloissa. Etsi lämpötila, jota kuumemmat kappaleet alkavat säteillä näkyvää valoa.

3. Valosähköisessä ilmiössä elektronin irrottamiseen kuluu tietty määrä energiaa, minkä vuoksi vasta tiettyä aallonpituutta lyhytaaltoisempi valo voi irrottaa elektroneja. Tämä energia riippuu metallista ja sitä kutsutaan irrotustyöksi. Esimerkiksi kuparin irrotustyö on 4,7 eV ja platinan 6,4 eV.
  - (a) Mikä on suurin valon aallonpituus, jolla kuparista voi irrottaa elektroneja?
  - (b) Platinallevyyn kohdistettiin UV-valoa, jonka aallonpituus oli 230 nm. Mikä oli irronneiden fotoelektronien kineettinen energia?
4. Laske 7 kg painavan keilapallon aallonpituus, kun pallo kulkee nopeudella 3,5 m/s.
5. Hiukkasen relativistinen massa voidaan laskea suhteellisuusteorian avulla kaavalla

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

missä  $m_0$  on hiukkasen lepomassa,  $v$  hiukkasen nopeus ja  $c$  valonnopeus. Vertaa paikallaan olevien, 0,2 kertaista ja 0,9 kertaista valonnopeutta kulkevien elektronien aallonpituuksia toisiinsa. Huomaatko, mikä ongelma liittyy paikallaan olevien elektronien aallonpituuteen?

6. Kuinka suureksi kasvaa 2000 kg painavan avaruusaluksen massa, jos joskus kehitetään moottori, joka pystyy nostamaan aluksen nopeuden 0,9 kertaiseksi valonnopeudeksi?
7. Päättele liikemassan kaavasta, miksi liikemassa on aina suurempi kuin lepomassa.
8. Vanhanaikaisessa TV-monitorissa oleva elektronitykki kiihdyttää elektroneja 50 kV jännitteellä. Mikä on TV:n lasiin osuvan elektronin kineettinen energia jouleissa? Entä mikä on kyseisen elektronin kokonaisenergia?
9. Kerro mitkä kokeet puolustavat valon aaltoluonnetta ja mitkä taas vastustavat?
10. Elektronit ovat hiukkasia, mutta kvanttimekaanisia hiukkasia, joten niillä on aaltoluonnetta. Mitkä asiat kaksoisrakokokeessa kertovat elektronin olevan kuin hiukkanen ja mitkä kuin aalto?

11. Mitä sanoo Heisenbergin epätarkkuusperiaate?
12. Johda hiukkasen energian mahdollisten arvojen kaava laatikossa jonka leveys on  $L$  lähtien seisovasta De Broglie-aallosta laatikossa.
13. Kymmenen grammaa painava marmorikuula on laatikossa, jonka läpimitta on 10 cm. Laske mahdolliset energiatilat järjestysluvun  $n$  funktiona.
14. Oheisella sivustolla on tiivistelmä yksiköistä hiukkasfysiikassa. Tee sivustolta löytyvät tehtävät. <http://quarknet.fnal.gov/toolkits/ati/whatgevs.html>  
Suomennetut tehtävänannot:
  - (a) Protonin energia Fermilabin Tevatron-hiukkaskiihdyttimessä on 1 TeV. Mikä on energia jouleissa?
  - (b) Ötökkä, jonka massa on 2,00 g liikkuu nopeudella 0,100 cm/s. Mikä on sen liikemäärä ja kineettinen energia yksikössä TeV?
  - (c) Protonin massa on  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg. Muunna tämä yksiköihin GeV ja TeV.
  - (d) Elektronin massa on 0,511 MeV. Muunna se kilogrammoiksi.
  - (e) Jefferson labin elektronikiihdyttimen hiukkasuuhkun energia on noin 5,5 GeV. Hiukasten pienen massan vuoksi voimme sanoa, että niiden liikemäärä on myös likimain 5,5 GeV. Mitä se on yksikössä kgm/s?

### Vastauksia:

1. 483 nm
3. 263 nm
4.  $2,7 \cdot 10^{-35}$  m
5. 12 pm ja 1,2 pm
6. 4600 kg
8.  $9,0 \cdot 10^{-14}$  J
13.  $E_n = 5,5 \cdot 10^{-64} n^2 \text{ J}$
14. (a)  $1,67 \cdot 10^{-7}$  J  
 (b)  $p = 3,73 \cdot 10^9 \text{ TeV}/c$  ja  $E_k = 6,22 \cdot 10^{-3} \text{ TeV}$   
 (c)  $0,933 \text{ GeV}/c^2$  ja  $9,33 \cdot 10^{-4} \text{ TeV}/c^2$   
 (d)  $9,15 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$   
 (e)  $3,0 \cdot 10^{-18} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$