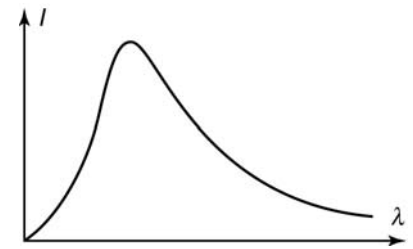


## RATKAISUT: 1. Kvantittuminen muutti käsityksen

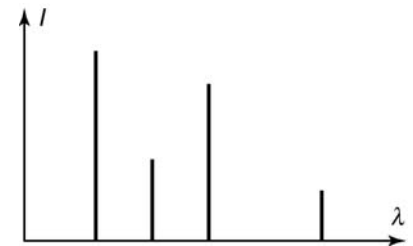
### luonnonilmiöistä

- Spektri esittää säteilyn intensiteetin aallonpituuden tai taajuuden funktiona.
  - Hehkulampun lanka on kiinteä, joten sen säteilyn spektri on jatkuva.



Kaasupurkausputken säteilyn spektri ei ole jatkuva, vaan se on viivaspektri tai vyöspektri.

- Kun aine absorboi sen läpi kulkeneesta säteilystä tietyt aallonpituudet, syntyy absorptiospektri.



- Hilassa valo taipuu eli tapahtuu diffraktio. Punainen väri taipuu eniten ( $\sin \theta = \frac{k\lambda}{d}$ ).

Prismassa eritaajuiset valoallot taittuvat ilman ja prisman rajapinnassa eri tavoin, sillä useimpien aineiden taitekerroin riippuu valon taajuudesta. Prismassa violetti valo taittuu eniten.

- Kuumat kappaleet emittoivat valoa. Atomin viritystilojen purkautuessa emittoituu valoa.
  - Kaasu absorboi sen läpi menneestä valosta tiettyjä aallonpituuksia. Valo on absorboitua myös kiinteään aineeseen.
- Auringon absorptiospektristä löytyy sekä vedyn että heliumin emissiospektrin viivoja, joten Auringossa on sekä vetyä että heliumia.
- Sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutukset tapahtuvat ikään kuin ”säteilyhiukkaset” törmäisivät aineen hiukkasiin. Näitä ”säteilyhiukkasia” kutsutaan fotoneiksi. Sähkömagneettisen säteilyn emissiossa fotoni syntyy ja absorptiossa se häviää.
  - Fotonilla ei ole massaa, joten se liikkuu valon nopeudella.

6. Näkyvän valon keskimääräinen aallonpituus on  $\lambda = 550 \text{ nm}$

a) Fotonin energia on

$$E = hf.$$

Aaltoliikkeen perusyhtälön mukaan

$$f = \frac{c}{\lambda}, \text{ joten}$$

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

$$= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 3,6118 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 2,2545 \text{ eV} \approx 2,3 \text{ eV}.$$

b) Fotonin liikemäärä

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

$$= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 1,2047 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \approx 1,2 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}.$$

**Vastaus:**

a) Fotonin energia on  $3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

b) Fotonin liikemäärä on  $1,2 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$ .

7. Tähtien pintalämpötila voidaan määrittää vertaamalla sen lähettämää säteilyä mustan kappaleen spektriin. Pintalämpötila lasketaan Wienin siirtymän avulla.

8. Musta kappale on malli, joka kuvaa sellaisen kappaleen ominaisuuksia, joka absorboi kaiken siihen osuvan säteilyn. Musta kappale myös säteilee kaikilla aallonpituuksilla.

9. Hehkulampun hehkulangan lämpötila on  $T = 3000 \text{ K}$ .

Lasketaan Wienin siirtymäläistä lämpötilaa  $3000 \text{ K}$  vastaavan fotonin aallonpituus.

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

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

Fotonin energia on

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

$$= \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3000 \text{ K}}{2,897756 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}$$

$$= 1,283616 \text{ eV} \approx 1,3 \text{ eV.}$$

**Vastaus:** Fotonin energia on 1,3 eV.

10. a) Lämpötila on  $T = 2,7 \text{ K}$ .

Lasketaan lämpötilaa vastaava aallonpituus Wienin siirtymälain.

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

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}{2,7 \text{ K}}$$

$$= 1,0733 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 1,1 \text{ mm}$$

$$\text{b) } \lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}{1200 \text{ K}}$$

$$= 2,415 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 2,4 \mu\text{m}$$

**Vastaus:**

a) Aallonpituus on 1,1 mm.

b) Aallonpituus on 2,4  $\mu\text{m}$ .

11. Maan säteily noudattaa mustan kappaleen lähettämää säteilyä, joten sen pintalämpötila voidaan laskea Wienin siirtymälain  $T\lambda_{\text{max}} = b$  avulla.

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

$$= \frac{2897,756 \text{ K}\mu\text{m}}{10\,000 \text{ nm}}$$

$$= 289,7756 \text{ K} \approx 290 \text{ K} = 17^\circ\text{C.}$$

**Vastaus:** Maan pintalämpötila on 290 K.

12. Valon aallonpituus on 550 nm.

a) Fotonin energia on

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

Sijoitetaan tunnetut arvot

$$E = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 3,6118 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

b) Fotonin liikemäärä on

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

Sijoitetaan tunnetut arvot

$$\begin{aligned} p &= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \\ &= 1,2047 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \approx 1,2 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

**Vastaus:**

a) Fotonin energia on  $3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

b) Fotonin liikemäärä on  $1,2 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$ .

13. Fotonien energia on  $E = 1,15 \text{ eV}$ .

Fotonin energia on

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

Josta voidaan katkaista aallonpituus

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{hc}{E} \\ &= \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,15 \text{ eV}} \\ &= 1,0782 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}. \end{aligned}$$

**Vastaus:** Aallonpituus on  $1,1 \mu\text{m}$ .

14. a) **Comptonin sironnaksi** kutsutaan ilmiötä, jossa aineeseen tulevan säteilyn aallonpituus on pienempi kuin siitä poistuvan säteilyn aallonpituus. Ilmiö on sitä voimakkaampi, mitä pienempi tulevan säteilyn aallonpituus on.

b) Klassisen fysiikan mukaan aallonpituus ei muutu sironnassa.

c) Comptonin sironnassa fotonit törmää kimmoisasti vapaaseen elektroniin. Osa fotonin energiasta muuttuu elektronin liike-energiaksi  $E_k = hf_0 - hf$ , jossa  $f_0$  on tulevan säteilyn taajuus ja  $f$  sironneen säteilyn taajuus.

15 a) Valosähköilmiössä metalliin sitoutunut elektroni absorboi fotonin, jonka energia on  $hf$  ja irtoaa fotoelektronina, jonka liike-energia on  $E_k = hf - W$ .

b) Sidosenergia on energia, joka tarvitaan irrottamaan elektroni atomin elektroniverhosta.

c) **Irrotustyö**  $W_{\text{min}}$  on pienin elektronin irrottamiseen tarvittava energia.

16. Ajatusta, että sähkömagneettinen säteily on kvantittunut tukevat valosähköilmiö ja Comptonin ilmiö.

17. Kuvaajasta voidaan lukea arvot.

a) Rajataajuus on cesiumille  $4,4 \cdot 10^{14}$  Hz ja natriumille  $5,1 \cdot 10^{14}$  Hz.

b) Irrotustyö on cesiumille 1,8 eV ja natriumille 2,1 eV.

18. Elektronien irrotustyö alumiinista on  $W_{\min} = 4,2$  eV ja monokromaattinen säteilyn aallonpituus on  $\lambda = 190$  nm.

Nopeimpien fotonielektronien liike-energia on

$$\begin{aligned} E_{k\max} &= hf - W_{\min} \\ &= \frac{hc}{\lambda} - W_{\min} \\ &= \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{190 \cdot 10^{-9} \text{ m}} - 4,2 \text{ eV} \\ &= 2,3262 \text{ eV} \approx 2,3 \text{ eV}. \end{aligned}$$

**Vastaus:** Elektronin liike-energia on 2,3 eV

19. Valon aallonpituus on  $\lambda = 280$  nm ja pysäytysjännite  $U = 0,90$  V.

Pysäytysjännite pysäyttää nopeimmatkin elektronit joten työperiaatteen mukaan

$$\begin{aligned} W &= \Delta E_k \\ Q_e U &= E_{k\max} - 0 \\ E_{k\max} &= e \cdot 0,90 \text{ V} = 0,90 \text{ eV} \end{aligned}$$

$$E_{k\max} = \frac{hc}{\lambda} - W_{\min}$$

$$\begin{aligned} W_{\min} &= \frac{hc}{\lambda} - E_{k\max} \\ &= \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{280 \cdot 10^{-9} \text{ m}} - 0,90 \text{ eV} \\ &= 3,5285 \text{ eV} \approx 3,5 \text{ eV}. \end{aligned}$$

Jos  $\lambda = 290$  nm olisi maksimienergia,

$$\begin{aligned} E_{k\max} &= \frac{hc}{\lambda} - W_{\min} \\ &= \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{290 \cdot 10^{-9} \text{ m}} - 3,5285 \text{ eV} \\ &= 0,747268 \text{ eV}. \end{aligned}$$

Ja pysäytysjännite

$$Q_e U = E_{k \max} - 0$$

$$U = \frac{E_{k \max}}{Q_e} = \frac{0,747268 \text{ eV}}{1 \text{ e}}$$

$$= 0,747268 \text{ V} \approx 0,75 \text{ V}.$$

**Vastaus:**

- a) Maksimi liike-energia on 0,90 eV.
- b) Irrotustyö on 3,5 eV.
- c) Jännite pieneni arvoon 0,75 V.

**20.** Näkyvän valon aallonpituus alue on

400 nm– 700 nm

Kaliumin irrotustyö on

$$W_{\min} = 2,25 \text{ eV}.$$

Että valosähköinen ilmiö olisi mahdollinen, on fotonin energian oltava suurempi kuin irrotustyö. Suurin energia on violetin valon aallonpituutta vastaavalla fotonilla.

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

$$E_{\max} = \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 3,0999 \text{ eV} \approx 3,1 \text{ eV}.$$

Lasketaan aallonpituus jota pienemmällä arvoilla elektroni irtoaa

$$E_{k \max} = \frac{hc}{\lambda} = W_{\min} \quad E_{k \max} = 0$$

$$\frac{hc}{\lambda} = W_{\min}$$

$$\lambda = \frac{hc}{W_{\min}}$$

$$= \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,25 \text{ eV}}$$

$$= 551,10 \text{ nm} \approx 550 \text{ nm}.$$

**Vastaus:** Elektroneja irtoaa jos aallonpituus on alle 550 nm

**21.** Lasketaan taajuudet

$$f = \frac{c}{\lambda}.$$

Elektronien maksimienergia on

$$E_{k \max} = Q_e U.$$

$\lambda$ (nm)	$f$ ( $10^{14}$ Hz)	$E_{kmax}$ (eV)
590	5,08	0,11
550	5,45	0,28
450	6,66	0,9
390	7,69	1,2
370	8,1	1,4
320	9,34	2

Kuviosta nähdään että akselin irrotustyö on suoran ja  $E_{kmax}$

akselin leikkaus

$$W_{min} = 2,0 \text{ eV}$$

$$f_{min} = 4,6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

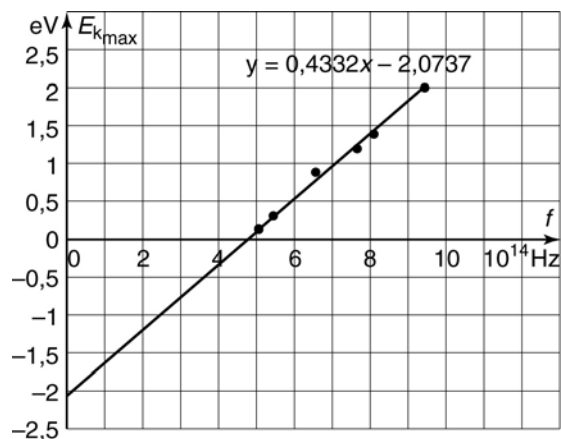
$$\lambda_r = \frac{c}{f} = 651,74 \text{ nm} \approx 650 \text{ nm}$$

$h$  saadaan suoran kulmakertoimesta

$$h = \frac{2,0 \text{ eV}}{5,0 \cdot 10^{14} \frac{1}{s}} = 4,0 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}.$$

**Vastaus:**

- a) Irrotustyö on 2,0 eV.
- b) Raja-aallonpituus on 650 nm.
- c) Planckin vakion arvo on  $4,0 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$ .



22. Fotonin energia on  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

$E = 10 \text{ eV}$ , joten

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

$$= \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ eV}}$$

$$= 124,00 \text{ nm} \approx 120 \text{ nm}$$

$$\lambda = \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000 \text{ eV}}$$

$$= 1,2400 \text{ nm} \approx 1,20 \text{ nm}.$$

**Vastaus:**

- a) Aallonpituus on 120 nm.
- b) Aallonpituus on 1,2 nm.