

1. Myoni on alkeishiukkanen, jonka elinikä on $2.2 \times 10^{-6} s$. (a) oletta, että myoni kulkee ulkopuoliseen tarkkailijaan nähden nopeudella $0.990c$. Kuinka pitkäksi tuo tarkkailija mittaa myonin eliniän? Kuinka pitkän matkan l myoni ehtii tuossa ajassa kulkea?

(b) Katsellaan maailmaa myonin koordinaatistosta. Kuinka pitkältä matka l näyttää liikuttaessa myonin mukana. Miksi myoni ehtii täsmälleen samaan paikkaan sekä omasta että ulkopuolisen havaitsijan mielestä?

2. Yksi vetyatomien lähettämän valon aallonpituus on $\lambda = 656.3 nm$ normaaleissa laboratorioolosuhteissa (väri on punainen). Erästä galaksista saapuu valoa, jossa tämä kyseinen aallonpituus on siirtynyt arvoon $953.4 nm$ eli infrapuna-alueelle. Kuinka nopeasti valoa lähettävä kohde liikkuu suhteessa maahan? Onko kohde loittonemassa maasta vai lähestymässä sitä?

3. *Silmän vaste.* Ihmisen silmä on herkin valolle, jonka aallonpituus on $505 nm$. Kokeellisesti on havaittu, että silmän sopeuduttua pimeyteen voi yksittäinen vihreän valon fotonin virittää verkkokalvon sauvan reseptorisolun. (a) Mikä on tällaisen fotonin taajuus? (b) Kuinka paljon energiaa se luovuttaa solulle? (c) Käytännössä fotonin energia menee solun atomien elektroneille. Mikäli energia menee kokonaan elektronin kineettiseksi energiaksi, laske elektronin saama liikemäärä ja vastaava *de Broglien* aallonpituus.

4. Tarkastellaan elektronia pitkässä orgaanisessa molekyyllisessä, jossa se käyttäytyy kuten hiukkanen laatikossa, jonka pituus on $L = 9.0 \times 10^{-10} m$.

Elektronin energia saadaan lausekkeesta

$$E_n = \frac{h^2}{8m_e L^2} n^2,$$

missä m_e = elektronin massa.

Lausekkeesta saadaan perustilan ($n=1$) energiaksi $E_1 = 0.465 eV$ (joten älä turhaan laske sitä).

(a) Millainen energia on oltava fotonilla, joka voi virittää elektronin perustilalta kolmannelle tilalle? Mikä on fotonin aallonpituus? Näkyykö se ja jos näkyy, mikä on sen väri?

(b) Mitä eri vaihtoehtoja on elektronilla palata takaisin perustilalle? Mitkä ovat mahdollisesti emittoituvien fotonien aallonpituudet? Ovatko fotonit näkyviä ja jos ovat, mikä on emittoituvan valon väri?

violetti	400nm	440nm
sininen	440nm	480nm
vihreä	480nm	560nm
keltainen	560nm	590nm
oranssi	590nm	630nm
punainen	630nm	700nm

Näkyvän valon aallonpituudet

5. Elektronia kiihdytetään jännitteen $U = 100V$:n yli. (a) Mikä on elektronin saama kineettinen energia elektronivoltteina ja Jouleina ilmaistuna? (b) Osoita, että elektronin *de Broglien* aallonpituus voidaan kirjoittaa jännitteen sekä elektronin massan ja varauksen avulla:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m e U}}.$$

(c) Nämä elektronit diffraktoituvat näytteestä, jossa aaltoja sirottavat atomit ovat tuntemattomalla etäisyydellä d . Jos elektronidiffraktion ensimmäinen interferenssimaksimi nähdään suunnassa 60° kohtisuoraan nähden, mikä on näytteen atomien etäisyys d ?

Käännä!

Vakioita:

$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$ ja $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$. $1 \text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{J}$. $c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s}$, elektronin massa $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$, protonin massa $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$, $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34} \text{Js}$, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{Js} = 4.136 \times 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}$.
Matemaattisia kaavoja: $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$,

Ohessa sekalainen kokoelma kaavoja, joista voi olla hyötyä. Huomaa, että kaikki kaavat eivät ole yleispäteviä vaan soveltuvat vain erikoistapauksiin

$$\begin{aligned} x &= x' + ut & y &= y' & z &= z' & t &= t' & v &= v' + u \\ x' &= \gamma(x - ut) & y' &= y & z' &= z & t' &= \gamma(t - ux/c^2) & v' &= \frac{v-u}{1-uv/c^2} & v &= \frac{v'+u}{1+uv'/c^2} \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad \Delta t = \gamma \Delta t_0 \quad l = \frac{l_0}{\gamma}$$

$$\frac{f}{f_0} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \text{ sinisiirtymä.} \quad \frac{f}{f_0} = \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \text{ punasiirtymä.}$$

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v} \quad E = K + mc^2 \quad K = (\gamma - 1)mc^2$$

$$E = \gamma mc^2 \quad E = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2} \quad K = E - mc^2 \quad K \approx p^2/2m \text{ jos } v \ll c.$$

$$m\lambda = d \sin \theta.$$

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} \quad E = pc \quad \lambda = h/p \quad p = h/\lambda \quad \Delta x \Delta p \geq \hbar \quad \Delta E \Delta t \geq \hbar$$

$$K_{\max} = hf - \phi \quad hf = E_f - E_i \quad hf = E_i - E_f \quad hf = n_f^2 E_1 - n_i^2 E_1 \quad \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + U\psi = E\psi \quad \psi = \sqrt{2/L} \sin(n\pi x/L) \quad \int_{-\infty}^{\infty} |\psi|^2 dx = 1$$

$$E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2} \quad E = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega \quad E = -\frac{13.60 \text{ eV}}{n^2} \quad E = -\frac{Z_{\text{eff}}^2 13.60 \text{ eV}}{n^2}$$

$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar \quad L_z = m_l \hbar \quad S = \sqrt{s(s+1)}\hbar \quad S_z = m_s \hbar$$