

Tentissä saa käyttää laskinta, mutta se ei saa olla ohjelmoitava.

Kääntöpuolella kaavoja ja vakioita.

1. Anna ja Bertta ovat maassa asuvat kaksoset. Bertta lähtee ensimmäisenä astronauttina tähdelle, joka on 6.0 valovuoden päässä maasta (valovuosi on tietenkin matka, jonka valo kulkee vuodessa). Avaruusaluksen vauhti on nopean alkukiihdytyksen jälkeen vakio $0.90c$.

a) Montako vuotta Annan mielestä Bertalta kuluu matkassa?

b) Montako vuotta Bertan mielestä kuluu matkaan?

c) Bertta lähtee heti perille päästyään paluumatkalle maahan. Kuinka paljon Anna on mielestään Berttaa vanhempi tämän saavuttua takaisin, jos paluumatka tehdään yhtä suurella nopeudella kuin menomatkin? Miksei Bertan mielestä Anna ole häntä vanhempi, vaikka Bertan koordinaatiston mukaan Anna on liikkunut nopeudella $0.90c$ matkan aikana?

2. Vihollisen avaruusalus liikkuu sinun Starfighter-alustasi kohti nopeudella $0.400c$ mitattuna suhteessa sinuun. Epäystävällinen alus laukaisee nopeudella $0.700c$ kiitävän ohjuksen kohti sinua (nopeus mitattuna suhteessa ohjuksen laukaisevaan alukseen).

a) Mikä on ohjuksen nopeus suhteessa alukseesi? Käytä yksikkönä valon nopeutta.

b) Ohjus käyttää tähtäämiseen lasersädetä, johon kuuluvan fotonin nopeus ohjuksen suhteen on c . Mikä on tämän fotonin nopeus oman aluksesi suhteen?

3. Tarkastellaan elektronia pitkässä orgaanisessa molekyylissä, jossa se käyttäytyy kuten hiukkanen potentiaalikaivos-
sa. Kaivon syvyys on 9.0 eV . Elektronilla on kolme sidottua tilaa, joiden energiat ovat kaivon pohjan suhteen 1.0 eV , 3.6 eV ja 7.6 eV .

a) Mikä pitää fotonin energian olla, jotta se voi virittää hiuk-
kasan perustilalta ensimmäiselle viritetylle tilalle? Mikä on
vastaavan valon väri?

b) Perustilalla oleva elektroni absorboi fotonin, jonka energia
on 9.2 eV . Tällöin elektroni pääsee karkaamaan molekyylistä.
Mikä on elektronin maksimivauhti karkaamisen jälkeen?

ultravioletti	<	400nm
violetti	400nm	440nm
sininen	440nm	480nm
vihreä	480nm	560nm
keltainen	560nm	590nm
oranssi	590nm	630nm
punainen	630nm	700nm
infrapunainen	>	700nm

Näkyvän valon aallonpituudet

4. Tarkastele piistä tehtyä aurinkokennoa.

a) Jos valenssi- ja johtavuusvöiden välillä on energiaerotus 1.12 eV , mikä on fotonin maksimiaallon-
pituus, jolla aurinkokenno toimii? Millä sähkömagneettisen säteilyn alueella tuo aallonpituus on?

b) Miksi piistä tehty aurinkokenno toimii näkyvän valon alueella, mutta esim. 100 MHz radioaalto
ei saa kennoa toimimaan?

5. Selosta lyhyesti (max. n. 5-6 riviä, liian pitkistä vastauksista seuraa pistevähennys).

a) Miten energiavyömallilla voidaan selittää johteiden, puolijohteiden, ja eristeiden erot sähkönjoh-
tavuudessa? Voit lisäksi piirtää asiasta havainnoivan kuvan.

b) Mitä korjauksia GPS-satelliitin aikasignaaliin täytyy tehdä erityisen ja yleisen suhteellisuusteo-
rian pohjalta? Ongelman selvittäminen riittää, ratkaisua ongelmaan ei tarvitse kertoa.

Käännä!

Vakioita:

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{TmA}^{-1}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$$

$$1 \text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{J}$$

$$c = 3.00 \times 10^8 \text{m/s}$$

$$\text{elektronin massa } m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{kg}$$

$$\text{protonin massa } m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{kg}$$

$$R = 1.097 \times 10^7 \text{m}^{-1}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{Js} = 4.136 \times 10^{-15} \text{eVs}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \times 10^{-34} \text{Js}$$

$$\mu_B = 5.788 \times 10^{-5} \text{eV/T}$$

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

$$x = x' + ut \quad y = y' \quad z = z' \quad t = t' \quad v = v' + u$$

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

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

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

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

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

$$U = qV \quad m\lambda = d \sin \theta$$

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} \quad E = pc \quad \lambda = h/p \quad p = h/\lambda \quad \Delta x \Delta p \geq \hbar/2 \quad \Delta E \Delta t \geq \hbar/2$$

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

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + U\psi = E\psi \quad \int_{-\infty}^{\infty} |\psi|^2 dx = 1$$

$$E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2} \quad \psi_n = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$T = Ge^{-2\kappa L}, \text{ missä } G = 16 \frac{E}{U_0} \left(1 - \frac{E}{U_0}\right) \text{ ja } \kappa = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}$$

$$E = -\frac{13.60 \text{ eV}}{n^2}$$

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

$$\mu_z = -m_l \frac{e\hbar}{2m_e} = -m_l \mu_B \quad U = m_l \mu_B B$$

$$\mu_z = -2.00232 m_s \frac{e\hbar}{2m_e}$$