1. *Inertiaalihavaitsijat Newtonin fysiikassa:* Havaitsija K' liikkuu inertiaalikoordinaatistossa K x-akselin suuntaisesti radalla $x_{K'}(t) = v_{K'}t + x_{K'0}$, missä $v_{K'}$ ja $x_{K'0}$ ovat vakioita. Kappale A liikkuu niin ikään K:n x-akselin suuntaisesti radalla $x_A(t) = a_A t^2/2$, missä a_A on vakio. Tarkastellaan tilannetta Newtonin fysiikassa, jossa aikakoordinaatit K':ssa ja K:ssa ovat samat, $t' = t$.

   a) Määritä kappaleen A rata $x'_A(t')$ K':n lepokoordinaatistossa.

   b) Laske kappaleen A kiihtyvyys ja siihen vaikuttava voima K':n mittaamana. Laske samat suureet K:n suhteen levossa olevan havaitsijan mittaamana.

   c) Mieti muuttuvatko b-kohdan tulokset jos havaitsija K' onkin kiihtyvässä liikkeessä K:n suhteen.

2. Suppean suhteellisuusteorian mukaan inertiaalihavaitsijan K ja sen suhteen vakionopeudella v liikkuvan toisen inertiaalihavaitsijan K' aika- ja paikkakoordinaattien välisen yhteyden määrittää Lorentz-muunnos: (oletetaan x-akselin suuntainen liike, jolloin $y' = y$ ja $z' = z$)

$$\begin{aligned} t' &= \gamma(t - vx/c^2) \ , \qquad \gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \ , \\ x' &= \gamma(x - vt) \ . \end{aligned}$$

   Kehitä t' ja x' lausekkeet Taylorin sarjaksi rajalla $v \ll c$ ensimmäisen kertaluvun tarkkuudella ja vertaa niitä Newtonin fysiikan Galilein muunnoksiin. Arvioi, kuinka suuri nopeuden v tulee olla, jotta poikkeama newtonilaisista tuloksista olisi yli 10% luokkaa.

3. Sähkömagnettinen kenttä tyhjiössä noudattaa muotoa

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = 0$$

   olevaa aaltoyhtälöä, jossa vakio c on aallon nopeus. Näytä, että aaltoyhtälö pysyy muuttumattomana edellisen kohdan muotoa olevassa Lorentz-muunnoksessa. Mikä on aallon nopeus mitattuna inertiaalikoordinaatistossa K ja sen suhteen vakionopeudella v liikkuvassa koordinaatistossa K'? (Vinkki: Tässä tarvitaan derivaatan ketjusääntöä, esim. $\frac{\partial f}{\partial x'} = \frac{\partial x}{\partial x'}\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial x'}\frac{\partial f}{\partial t}$.)

4. Tammelantorin kellon näyttäessä 00:00 ohjeistamispäällikkö Parantainen lähtee torilta avaruusaluksellaan kohti Plutoa vakionopeudella $v = 10^5$ km/s. Lähtökiihdytystä ei tässä huomioida. Myöhemmin paikallisesta ravitsemusliikkeestä kotiinsa suunnistava kanta-asukas pysähtyy levähtämään raketin lähtöpaikalle torin kellon ollessa 01:00 (tapahtuma A) ja poistuu paikalta klo 01:01 (tapahtuma B). Mikä on tapahtumien A ja B välinen aikaero Parantaisen mittaamana?

Jatkuu seuraavalla sivulla

5. Jatketaan tehtävän 4 tilanteessa. Parantaisen kellon näyttäessä 01:00 (tapahtuma C) hän laittaa aluksen kahvinkeittimen päälle ja kellon ollessa 01:01 (tapahtuma D) hän havaitsee kahvin olevan valmista. Laske tapahtumien C ja D välinen aikaero Tammelantorin kellon mittaamana.

6. Supersymmetristen hiukkasfysiikan teorioiden kohtalosta alkaneen kiivaan, mutta hedelmättömän väittelyn jälkeen fyysiikot A ja B lähtevät Maasta avaruusaluksilla vastakkaisiin suuntiin tuulettelemaan ajatuksiaan. Avaruusaluksen A nopeus Maan suhteen on $v_{\mathrm{A}} = 0.8c$, ja siitä katsottuna B liikkuu poispäin nopeudellla $v_{\mathrm{rel}} = 0.9c$. Mikä on aluksen B nopeus v_{B} Maan suhteen?