1. Luonnollisissa yksiköissä asetetaan $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{m/s} = 1$ ja $\hbar = 1.05457 \times 10^{-34}$ Js $= 6.58212 \times 10^{-25}$ GeVs $= 1$, jolloin pituus, aika, massa^{-1} ja energia^{-1} ovat kaikki samoissa yksiköissä. Harjoitellaan yksikkömuunnoksia:

   a) Sijoita SI-yksiköissä annetut c:n ja $\hbar$:n arvot luonnollisissa yksiköissä pätevään yhtälöön $\hbar c = 1$ ja kirjoita tulos muotoon 1J $=$ numero $\times$ m^{-1}. Tulos antaa luonnollisissa yksiköissä pätevän yksikkömuunnoskaavan, jolla Joulet voidaan muuntaa metreiksi. Kirjoita myös vastaava muunnoskaava eV ja m välillä käyttämällä edelleen relaatiota 1eV $= 1.602176634 \times 10^{-19}$J.

   b) Nukelonien välistä vahvaa vuorovaikutusta voidaan efektiivisesti kuvata pionin välittämänä prosessina. Luonnollisissa yksiköissä pionin massa $m_\pi = 140\,\text{MeV}/c^2 = 140\,\text{MeV}$. Mikä on vuorovaikutuksen kantamaa karakterisoiva pituusskaala m_π^{-1} metreissä? Entä vastaava aikaskaala m_π^{-1} sekunneissa?

2. Hiukkaskiihdyttimessä syntyvä Λ^0-suihku halutaan törmäyttää etäisyyden $\Delta x = 2.0$m päässä sijaitsevaan p^+-kohtioon. Λ^0-hiukkasten keskimääräinen elinikä on $\tau = 2.6 \times 10^{-10}$ s. Kuinka suuri energia syntyvillä Λ^0-hiukkasilla täytyy olla suhteessa niiden lepoenergiaan, jotta vähintään 50% niistä saavuttaisi p^+-kohtion? (Vinkki: Muista, että elinikä on annettu hiukkasen lepokoordinaatistossa ja huomaa, että hiukkasten lukumäärä ajan funktiona noudattaa samankaltaista hajoamislakia kuin luennoissa s. 80)

3. Piirrä alimman kertaluvun Feynmanin diagramma(t) QED-prosessille: $e^- + \mu^- \to e^- + \mu^-$. Laske, miten sähkövaraus ja leptoniluku per maku (L_e, L_μ, L_τ, missä $L_e(e^\pm) = \pm 1$ jne.) muuttuu kussakin verteksissä.

4. Piirrä alimman kertaluvun Feynmanin diagramma(t) seuraaville QED-prosesseille:

   a) $e^+ + e^+ \to e^+ + e^+$

   b) $e^- + \gamma \to e^- + \gamma$

   c) $\tau^+ + \tau^- \to \gamma + \gamma$