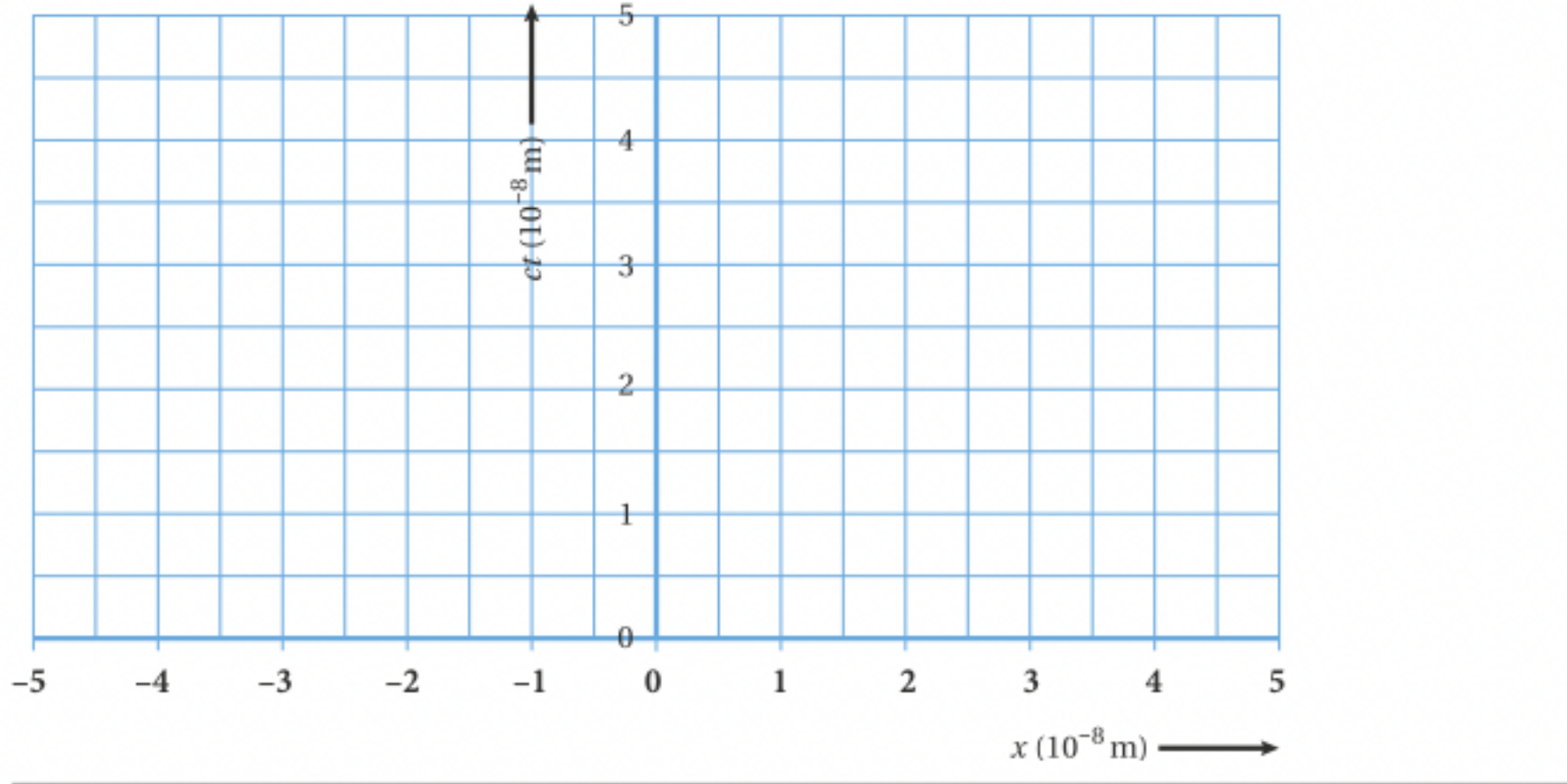


35 Bij een botsing tussen twee protonen in de Large Hadron Collider (LHC) kan een neutraal pion ontstaan. De massa van een pion is 264 keer zo groot als de massa van een elektron. De totale energie van een bepaald neutraal pion is gelijk aan 210 MeV.

a Toon aan dat de snelheid van het pion 77% van de lichtsnelheid is.

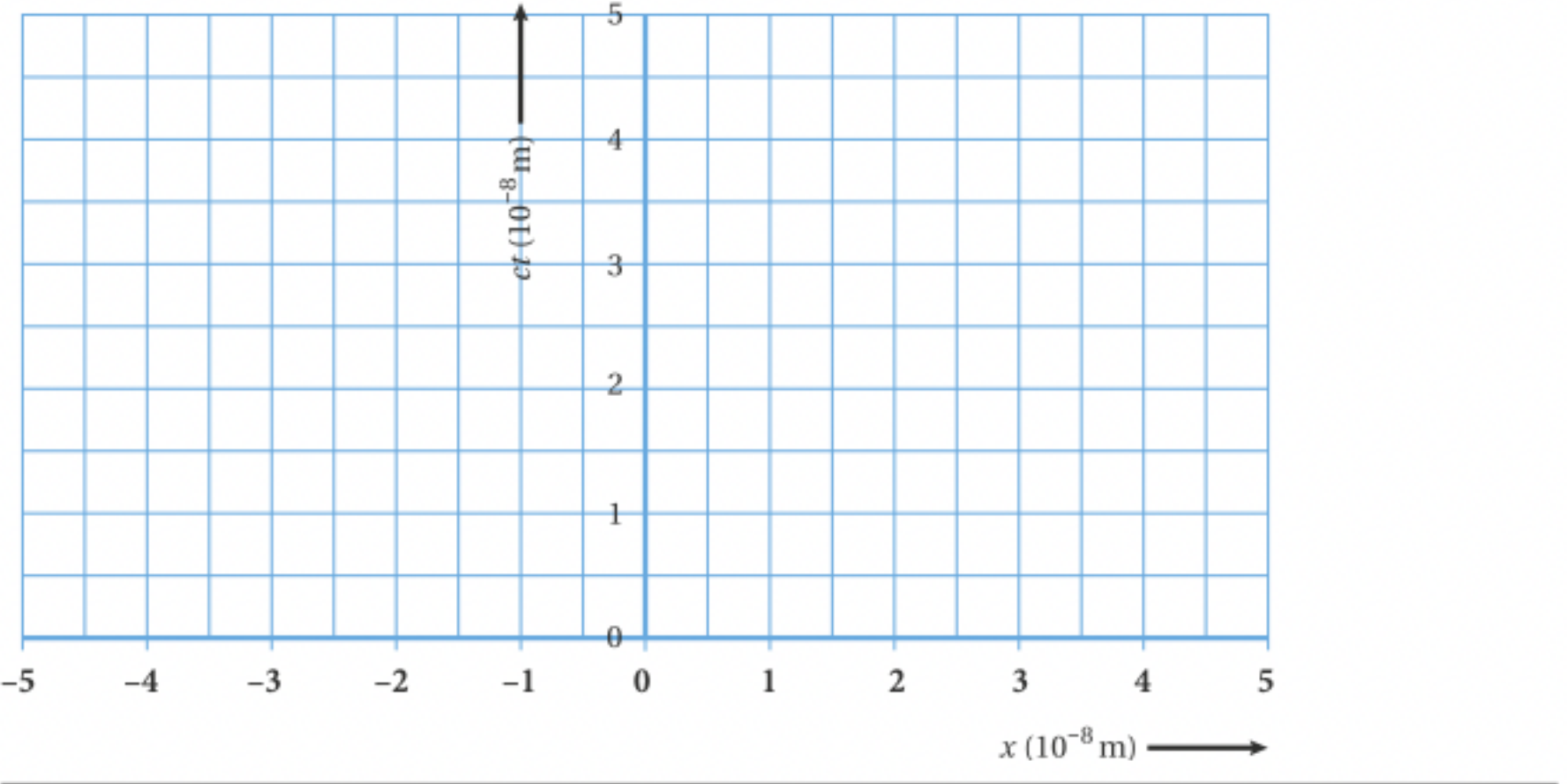
Een neutraal pion kan overgaan in twee fotonen. De gemiddelde levensduur van een pion bedraagt $8,4 \cdot 10^{-17}$ s.

- b Toon aan dat het pion in het referentiestelsel van de LHC een afstand aflegt van $3,0 \cdot 10^{-8}$ m.
- Figuur 59 is een leeg ruimtetijd-diagram van het referentiestelsel van de LHC.
- c Teken in figuur 59 de wereldlijn van het pion en de wereldlijnen van de twee fotonen die ontstaan. Neem aan dat het pion in de oorsprong is ontstaan.



Figuur 59

- Figuur 60 is een leeg ruimtetijd-diagram van het referentiestelsel van het pion.
- d Teken in figuur 60 de wereldlijn van het pion en de wereldlijnen van de twee fotonen die ontstaan. Neem aan dat het pion in de oorsprong is ontstaan.



Figuur 60

6 Afsluiting

Opgave 35

- a De snelheid van het pion bereken je met de formule voor de gammafactor. De gammafactor volgt uit de formule voor de totale energie van het pion. De rustenergie van een pion bereken je met de rustenergie van een elektron.
- De massa van een pion is 264 keer zo groot als die van een elektron. Dus is de rustenergie 264 keer zo groot als die van een elektron.
- $E_{0,\text{pion}} = 264 \cdot E_{0,\text{elektron}}$
 $E_{0,\text{elektron}} = 0,510998 \text{ MeV}$ Zie BINAS tabel 7
 $E_{0,\text{pion}} = 264 \times 0,510998 \text{ MeV} = 134,9 \text{ MeV}$
- $E_{\text{tot}} = \gamma \cdot E_0$
 $E_{\text{tot}} = 210 \text{ MeV}$
 $E_0 = 134,9 \text{ MeV}$
 $210 = \gamma \cdot 134,9$
 $\gamma = 1,556$
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- $1,556 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- $\frac{v}{c} = 0,766$
- Het pion heeft dus een snelheid die 77% van de lichtsnelheid is.
- b De afstand bereken je met de formule voor de verplaatsing bij eenparige beweging. De constante snelheid bereken je met de lichtsnelheid. De tijd bereken je met de formule voor de tijdrek. De gammafactor bereken je met de formule voor de gammafactor.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v = 0,77c$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,77c)^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = 1,567$$

$$\Delta t_b = \gamma \cdot \Delta t_e$$

$$\Delta t_e = 8,4 \cdot 10^{-17} \text{ s}$$

$$\Delta t_b = 1,567 \times 8,4 \cdot 10^{-17} = 1,316 \cdot 10^{-16}$$

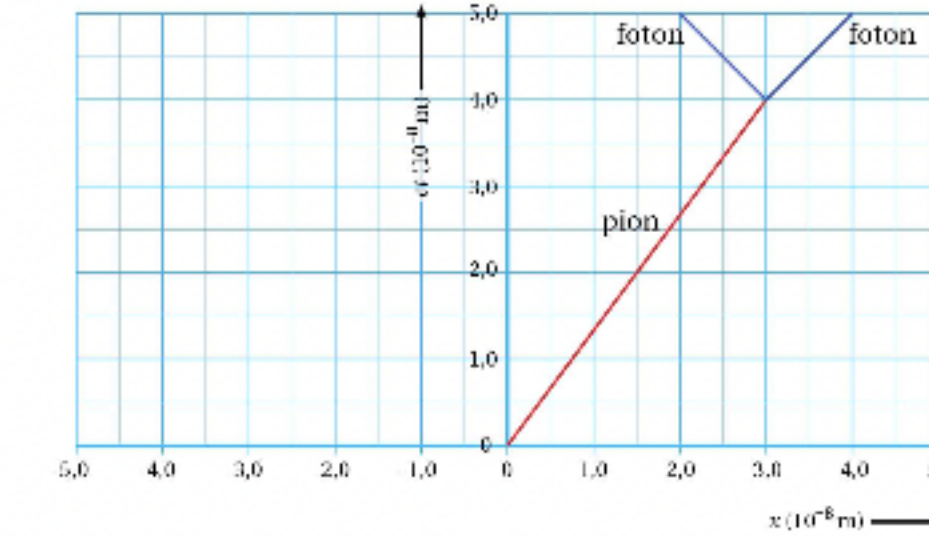
$$s = v \cdot t$$

$$v = 0,77c = 0,77 \times 2,9979 \cdot 10^8 = 2,308 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$s = 2,308 \cdot 10^8 \times 1,316 \cdot 10^{-16} = 3,037 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

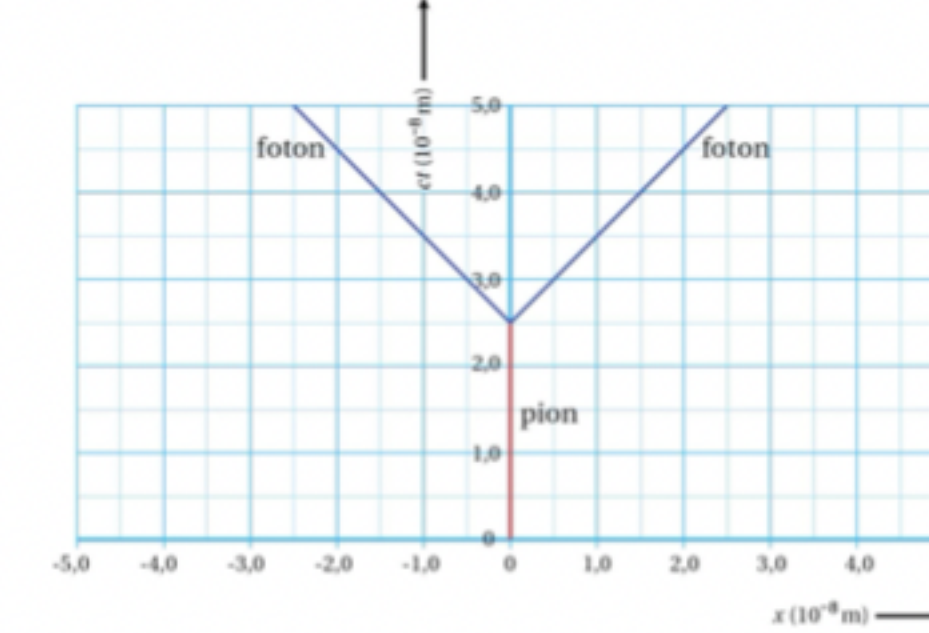
Afgerond: $s = 3,0 \cdot 10^{-8} \text{ m}$.

- c Zie figuur 21.
- De wereldlijn van het pion loopt tot aan $x = 3,0 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ en $ct = 2,9979 \cdot 10^8 \times 8,4 \cdot 10^{-17} \text{ m}$.
- De wereldlijn van een foton staat onder een hoek van 45° omdat de wereldlijn van een foton de lichtsnelheid beweegt. In figuur 21 bewegen ze in tegengestelde richtingen.



Figuur 21

- d Zie figuur 22.
- Het pion staat stil in zijn eigen stelsel. Op $ct = 2,9979 \cdot 10^8 \times 8,4 \cdot 10^{-17} \text{ m}$ vervalt het pion in twee fotonen.



Figuur 22