

25 De LHC bestaat uit een ondergrondse ring met daarin twee cirkelvormige buizen dicht naast elkaar. Zie figuur 26. De buizen vormen een cirkel met een diameter van 8,5 km.

In de twee buizen gaan twee bundels protonen rond in tegengestelde richting waarbij ze worden versneld. Als de protonen door het versnellen een energie van 7,0 TeV hebben gekregen, laten de wetenschappers deze protonen in een detector tegen elkaar botsen.

Voordat de protonen in de ring van de LHC binnenkomen, worden ze eerst in een lineaire versneller versneld. Daarbij doorlopen de protonen vele malen een elektrische spanning van 5,0 kV.

- a Bereken hoe vaak de protonen deze spanning moeten doorlopen om vanuit stilstand een snelheid van  $1,2 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$  te krijgen.

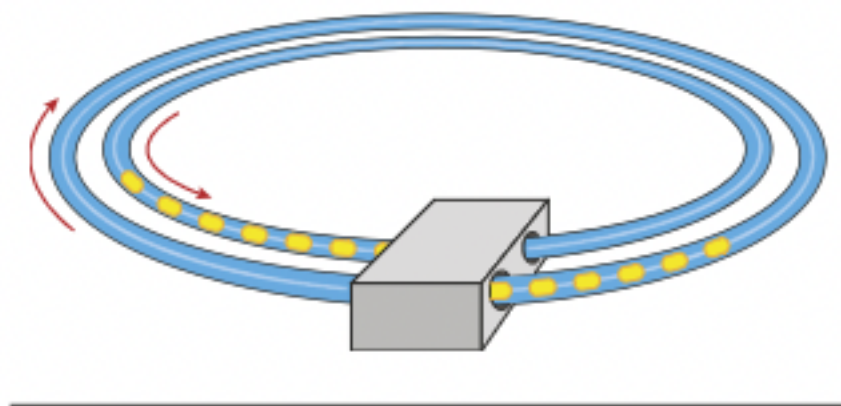
De protonen worden in de buizen in een cirkelbaan gehouden door sterke elektromagneten om de buizen. Met een energie van 7,0 TeV is de snelheid van de protonen (vrijwel) gelijk aan de lichtsnelheid.

Voor een proton met een energie van 7,0 TeV dat rondgaat in een buis geldt:

$$F_{\text{mpz}} = \frac{E}{r}$$

- $F_{\text{mpz}}$  is de middelpuntzoekende kracht in N.
- $E$  is de energie van het proton in J.
- $r$  is de straal van de baan in m.

- b Bereken de sterkte van het magnetisch veld.



Figuur 26

De wetenschappers laten de bundels samenkomen zodat de protonen botsen. Als twee protonen op elkaar botsen, kunnen allerlei reacties plaatsvinden. Bij één van die reacties ontstaan deuterium, een positron en een neutrino.

- c Stel de vergelijking van deze reactie op.

#### Opgave 25

- a Het aantal maal dat de spanning van 5,0 kV wordt doorlopen, bereken je uit de kinetische energie en de toename van de elektrische energie tijdens het doorlopen van de spanning van 5,0 kV.  
De kinetische energie bereken je met de formule voor kinetische energie.  
De toename van de elektrische energie bereken je met formule voor elektrische energie.

$$\begin{aligned}\Delta E_k &= q \cdot U \\ q &= +e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ U &= 5,0 \text{ kV} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ V} \\ \Delta E_k &= 1,602 \cdot 10^{-19} \times 5,0 \cdot 10^3 \\ \Delta E_k &= 8,01 \cdot 10^{-16} \text{ J}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_k &= \frac{1}{2} m \cdot v^2 \\ m &= 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ v &= 1,2 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1} \\ E_k &= \frac{1}{2} \times 1,67262 \cdot 10^{-27} \times (1,2 \cdot 10^7)^2 \\ E_k &= 1,204286 \cdot 10^{-13} \text{ J}\end{aligned}$$

$$\text{De spanning moet dus } n = \frac{E_k}{\Delta E_k} = \frac{1,204286 \cdot 10^{-13}}{8,010 \cdot 10^{-16}} = 1,503 \cdot 10^2 \text{ keer worden doorlopen.}$$

- afgerond:  $n = 1,5 \cdot 10^2$  keer.  
b De sterkte van het magnetisch veld bereken je met de formule voor de lorentzkracht. De lorentzkracht volgt uit de middelpuntzoekende kracht. De middelpuntzoekende kracht bereken je met de gegeven formule. De straal bereken je met de diameter.

$$\begin{aligned}r &= \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \times 8,5 \cdot 10^3 \\ r &= 4,25 \cdot 10^3 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{\text{mpz}} &= \frac{E}{r} \\ E &= 7,0 \text{ TeV} = 7,0 \cdot 10^{12} \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 1,1214 \cdot 10^{-6} \text{ J} \\ r &= 4,25 \cdot 10^3 \text{ m} \\ F_{\text{mpz}} &= \frac{1,1214 \cdot 10^{-6}}{4,25 \cdot 10^3} = 2,638 \cdot 10^{-10} \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_L &= B \cdot q \cdot v \\ F_L &= F_{\text{mpz}} = 2,638 \cdot 10^{-10} \text{ N} \\ q &= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ v &= 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \\ 2,638 \cdot 10^{-10} &= B \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \times 2,9979 \cdot 10^8 \\ B &= 5,492 \text{ T}\end{aligned}$$

Afgerond: 5,5 T.

- c  ${}^1_1\text{p} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^2_1\text{H} + {}^0_{+1}\beta + \nu_e$

*Toelichting*

Er is al voldaan aan de wet van behoud van ladingsgetal en van massagetal. Bij de reactie geldt ook de wet van behoud van leptongetal. Het positron heeft leptongetal  $-1$ . Er moet dus een elektronneutrino met leptongetal  $+1$  vrijkomen.