

42 In de buurt van Genève bevindt zich de Large Hadron Collider (LHC). Zie figuur 10.106. Deze ondergrondse deeltjesversneller is met een diameter van 8,4858 km de grootste ter wereld. De LHC bestaat uit een ondergrondse ring met daarin twee cirkelvormige buizen dicht naast elkaar. In de twee buizen gaan twee bundels protonen rond in tegengestelde richting.

Als de protonen een energie van 7,0 TeV (tera-elektronvolt) hebben gekregen, laten wetenschappers deze protonen in een detector tegen elkaar botsen.

Voordat de protonen de ring van de LHC binnenkomen, worden ze eerst versneld in een lineaire versneller. Daarbij doorlopen de protonen een groot aantal keer 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.

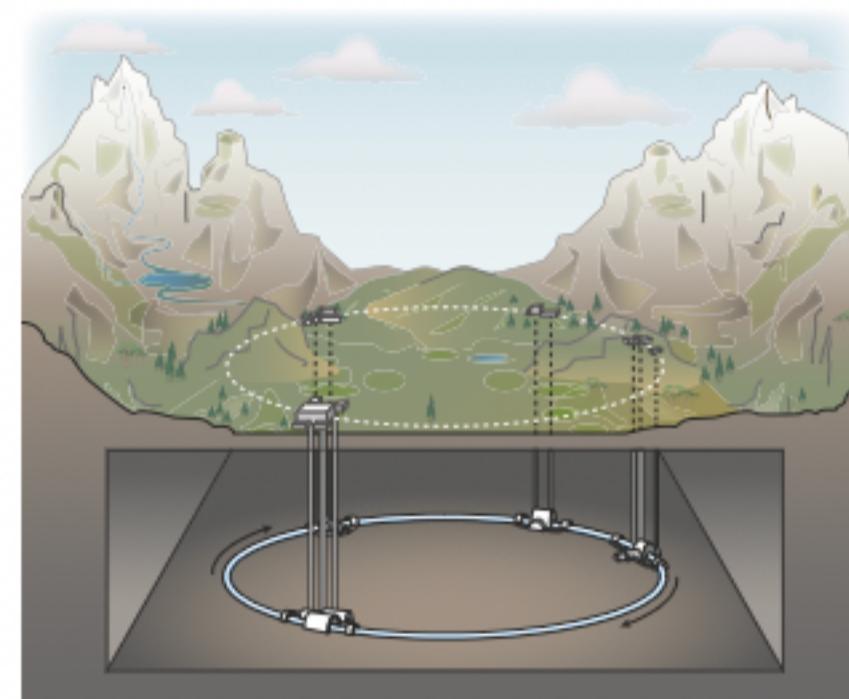
Voordat de protonen in de grote ring komen, worden ze in twee bundels gesplitst. Daarna worden de protonen versneld totdat ze 11 245 maal per seconde de ring doorlopen.

- b Bereken in één significant cijfer hoeveel procent de snelheid van de protonen dan verschilt van de lichtsnelheid.

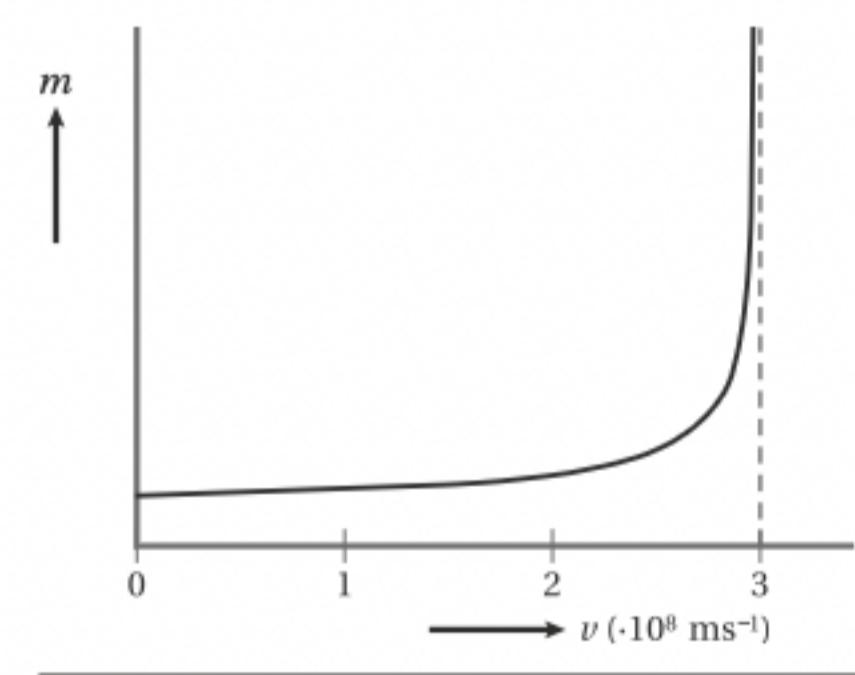
Als je de kinetische energie van 7,0 TeV omrekent naar de snelheid van het proton, vind je een waarde die veel groter is dan de lichtsnelheid. Volgens de relativiteitstheorie is dit niet mogelijk, omdat de massa van een deeltje tot oneindig toeneemt als het deeltje de lichtsnelheid bereikt. Dit is weergegeven in figuur 10.107.

Bij elke omwenteling neemt de kinetische energie van een proton toe.

- c Leg aan de hand van figuur 10.107 uit dat een proton nooit de lichtsnelheid bereikt, hoe groot de kinetische energie ook is.



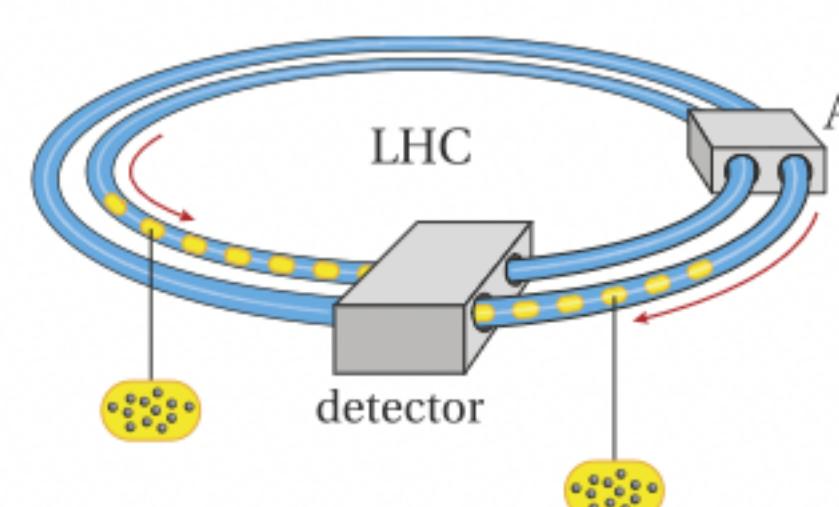
Figuur 10.106



Figuur 10.107

In de ring bevinden zich twee buizen waarin de protonen in tegengestelde richting bewegen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 10.108.

De protonen worden in de buizen in een cirkelbaan gehouden door sterke elektromagneten om de buizen. In figuur 10.108 zie je bij punt A dat de protonen in de rechter buis naar je toe bewegen en in de linker buis van je af.



Figuur 10.108

## 10.7 Afsluiting

### Opgave 42

- a Het aantal keren dat de elektronen de spanning moeten doorlopen, bereken je met de totale benodigde spanning.  
De totale benodigde spanning bereken je met de formule voor de toename van elektrische energie.  
De toename van de elektrische energie volgt uit de kinetische energie in een elektrisch veld.  
De kinetische energie bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{end}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$m = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$v_{\text{end}} = 1,2 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \times (1,2 \cdot 10^7)^2 - \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \times (0)^2$$

$$\Delta E_k = 1,203 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Dus  $\Delta E_k = \Delta E_{\text{el}}$   
 $\Delta E_{\text{el}} = q \cdot U_{\text{totaal}}$   
 $q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
 Invullen levert:  $1,203 \cdot 10^{-13} = 1,602 \cdot 10^{-19} \times U$ .  
 $U_{\text{totaal}} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ V}$

Het proton moet dus  $\frac{7,5 \cdot 10^5}{5,0 \cdot 10^3} = 1,5 \cdot 10^2$  keer het spanningsverschil van 5,0 kV doorlopen.

- b De snelheid van de protonen bereken je met de afstand en de tijd voor een ronde.  
De afstand bereken je met de diameter van de ring.  
De tijd bereken je met de omlooptijd van het proton.  
De omlooptijd bereken je met de frequentie.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = 11245 \text{ Hz}$$

$$\text{Invullen levert: } 11245 = \frac{1}{T}$$

$$T = 8,8928 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$s = \pi \cdot d$$

$$d = 8,4858 \text{ km} = 8,4858 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } s = \pi \times 8,4858 \cdot 10^3$$

$$s = 26658,9 \text{ m}$$

$$s = v \cdot t$$

$$26658,9 = v \times 8,8928 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Invullen levert: } v = 2,997810 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

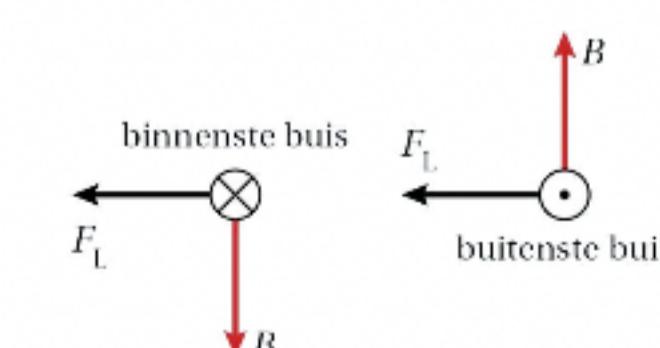
De lichtsnelheid is gelijk aan  $2,997924 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ . De snelheid van de protonen is dus gelijk aan  $\frac{2,997810 \cdot 10^8}{2,997924 \cdot 10^8} = 0,999962 = 99,9962\%$ .

De snelheid wijkt dus  $100 - 99,9962 = 3,8 \cdot 10^{-3}\%$  af van de lichtsnelheid.  
Afgorond:  $4 \cdot 10^{-3}\%$ .

- c Voor de kinetische energie van een deeltje geldt  $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ .  
Uit figuur 10.107 van het leerboek blijkt dat de massa tot oneindig toeneemt in de buurt van de lichtsnelheid. De kinetische energie moet dus oneindig groot worden om de lichtsnelheid te bereiken en dat is onmogelijk.

- d De richting van het magnetisch veld bereken je met de FBI-regel (linkerhandregel).

Zie figuur 10.24.  
De protonen worden door de lorentzkracht afgebogen. Bij punt A wijst de lorentzkracht in beide ringen naar het midden van de cirkel. Dus naar links (duim).  
Bij de binnenste buis gaat een stroom bij punt A de pagina in (middelvinger).  
Met behulp van de FBI-regel bepaal je dat het magnetisch veld in de binnenste ring naar de onderkant van de pagina wijst.  
De buitenste buis heeft een stroomrichting naar je toe bij punt A. Met behulp van de linkerhandregel bepaal je dat het magnetisch veld in de buitenste ring naar de bovenkant van de pagina wijst.



Figuur 10.24

- e Het aantal protonen in een groepje bereken je met het aantal groepjes en het totale aantal protonen.  
Het aantal protonen in een omloop bereken je met de totale lading in een omloop en de lading van een proton.  
De totale lading in een omloop bereken je met de stroomsterkte en de tijd voor een omloop.