

27 In de LHC bewegen groepjes protonen met zeer hoge snelheid. Zo'n groepje kleine deeltjes heet een bunch. Een bunch heeft de vorm van een cilinder met een frontaal oppervlak met een diameter van 16 μm.

Een cilindervormige bunch bevat $1,15 \cdot 10^{11}$ protonen. Een proton heeft een diameter in de ordegrootte van 10^{-15} m. Doordat de protonen een heel hoge snelheid hebben heeft de elektrische afstoting nauwelijks effect. Als een proton frontaal door een bunch vliegt is de kans dat hij een ander proton raakt ongeveer 1 op 10^{20} .

a Toon dit aan.

Doordat de kans op een botsing zo klein is, levert een ontmoeting van twee bunches een aantal botsingen op in de ordegrootte 10^2 .

b Toon dit aan.

In de praktijk blijkt het kruisen van twee bunches maar twintig detecteerbare botsingen op te leveren. De LHC is een ring met een omtrek van 27 km. De protonen bewegen daarin met bijna de lichtsnelheid. Daardoor kruisen de bunches elkaar dus vele malen per seconde. Bovendien draaien er niet één, maar ongeveer $2,8 \cdot 10^3$ bunches tegelijk hun rondjes. Dit levert ongeveer 600 miljoen detecteerbare botsingen per seconde op.

c Toon dit aan.

Eén run van de LHC duurt ongeveer 10 uur. Elke botsing levert ongeveer 1,6 megabyte aan data. De vier grootste internetbedrijven (Google, Amazon, Microsoft en Facebook) hebben samen ongeveer $1,2 \cdot 10^{18}$ bytes opgeslagen.

d Bereken hoelang de LHC erover doet om $1,2 \cdot 10^{18}$ bytes aan data te genereren. Zelfs met de snelste computers is deze datastroom niet te beheersen, laat staan te analyseren. Daarom worden de data snel gecheckt op interessante events. Slechts een op de miljoen waargenomen botsingen overleeft deze schifting, en wordt definitief vastgelegd in computergeheugen. De rest wordt gewist.

e Leg uit waarom het grootste deel van de botsingen voor de onderzoekers aan de LHC geen interessante gegevens genereert.

Opgave 27

- a De protonen in de bunch zijn verdeeld over de bunch. De kans dat een proton aan de voorkant van de bunch getroffen wordt, is even groot als een proton aan de achterkant van de bunch. In gedachten kun je de protonen in de bunch verdelen over het frontale oppervlak. De kans dat een proton een ander proton raakt bereken je dus met de verhouding van de frontale oppervlakten. De frontale oppervlakte bereken je met de diameter.

$$\begin{aligned} \text{Voor de frontale oppervlak geldt: } A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ d_{\text{bunch}} &= 16 \text{ } \mu\text{m} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ m en } d_{\text{proton}} = 1 \cdot 10^{-16} \text{ m} \\ \frac{A_{\text{bunch}}}{A_{\text{proton}}} &= \frac{d_{\text{bunch}}^2}{d_{\text{proton}}^2} = \frac{(1 \cdot 10^{-15})^2}{(1 \cdot 10^{-16})^2} = 2,56 \cdot 10^{20} \end{aligned}$$

- De kans dat een proton in de bunch getroffen wordt, is dus afgerond $1 \cdot 10^{-20}$.
b De kans $1 \cdot 10^{-20}$ geldt voor elke proton van beide bunches. Er zitten $1,15 \cdot 10^{11}$ protonen in een bunch. In totaal zijn er dus $1,15 \cdot 10^{11} \times 1,15 \cdot 10^{11} = 1,32 \cdot 10^{22}$ mogelijkheden op een botsing, ieder met de kans $1 \cdot 10^{-20}$. Dat levert dan $1,32 \cdot 10^{22} \times 1 \cdot 10^{-20} = 132$ botsingen op. Afgerond: 10^2 botsingen.
c Het aantal botsingen per seconde bereken je met het aantal botsingen tussen twee bunches en het aantal keer dat twee bunches elkaar tegen komen per seconde. Het aantal keer dat twee bunches elkaar tegenkomen bereken je met het aantal bunches en het aantal rondjes per seconde. Het aantal rondjes per seconde bereken je met de omlooptijd en de omtrek van LHC. De omlooptijd bereken je met de formule voor de constante snelheid.

$$\begin{aligned} s &= v \cdot t \\ s &= 27 \text{ km} = 27 \cdot 10^3 \text{ m} \\ v &= c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \\ 27 \cdot 10^3 &= 3,0 \cdot 10^8 \cdot t \\ t &= 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

$$\text{Dus in 1 s maakt een bunch } \frac{1}{9,0 \cdot 10^{-5}} = 1,11 \cdot 10^4 \text{ rondjes.}$$

- Er zijn $2,8 \cdot 10^3$ bunches die elkaar tegenkomen waarbij 20 detecteerbare botsingen optreden. Dus zijn er $2,8 \cdot 10^3 \times 1,11 \cdot 10^4 \times 20 = 6,22 \cdot 10^8$ detecteerbare botsingen. Dit is ongeveer 600 miljoen.
d Er zijn dus per seconde 600 miljoen detecteerbare botsingen die ieder 1,6 megabyte aan data opleveren. Dus per seconde levert dit $600 \cdot 10^6 \times 1,6 \cdot 10^6 = 9,6 \cdot 10^{14}$ bytes aan data op. Om $1,2 \cdot 10^{18}$ aan data te genereren zijn er dus $\frac{1,2 \cdot 10^{18}}{9,6 \cdot 10^{14}} = 1,25 \cdot 10^3$ seconden nodig. Dit komt overeen met $\frac{1,25 \cdot 10^3}{60} = 20,8$ minuten. Afgrond: 21 minuten.
e Met de LHC zoekt men naar onbekende, zware, deeltjes. Het grootste deel van de botsingen creëert (veel) lichte deeltjes in plaats van enkele zware, en die lichte deeltjes zijn al lang bekend.