



## 1 Inleiding

In het voorjaar van 2015 start de LHC opnieuw op. Ditmaal met een hogere energie dan ooit tevoren. Protonen met een energie van 7,0 TeV zullen op elkaar botsen en bij deze botsingen hoopt men extra dimensies aan te tonen en aanwijzingen te vinden wat donkere materie is. Daarnaast zullen er interacties tussen Higgs bosonen onderzocht gaan worden.

## 2 Voorkennis

Van het natuurkunde programma van het VWO hebben leerlingen kennis nodig van impuls, energiebehoud, atoommodel en de beschikking hebben over een Binas. Daarnaast hebben leerlingen geleerd dat geladen deeltjes afbuigen in magneetvelden en dat geladen deeltjes versneld kunnen worden in elektrische velden. De energie van bewegende deeltjes (relativistisch) is:

$$E^2 = E_0^2 + p^2 \cdot c^2 \rightarrow E^2 = m_0^2 \cdot c^4 + p^2 \cdot c^2$$

Als achtergrondinformatie moet de LHC guide gedownload worden van de website van CERN en kan de presentatie van I. van Vulpen gebruikt worden. LHC-guide: <http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf> Presentatie LHC: [www.nikhef.nl/~ivov/Talks/2009\\_10\\_14\\_FomVisiteNikhef.ppt](http://www.nikhef.nl/~ivov/Talks/2009_10_14_FomVisiteNikhef.ppt)

## 3 Opgaven atoombouw

**Opdracht 1:** Schat de grootte van een goudatoom. (We gaan uit van een kubusvormig blokje met zijden van 1 cm.)

---

---

---

---

**Opdracht 2:** Welke energie is nodig om met elektronen de innerlijke structuur van

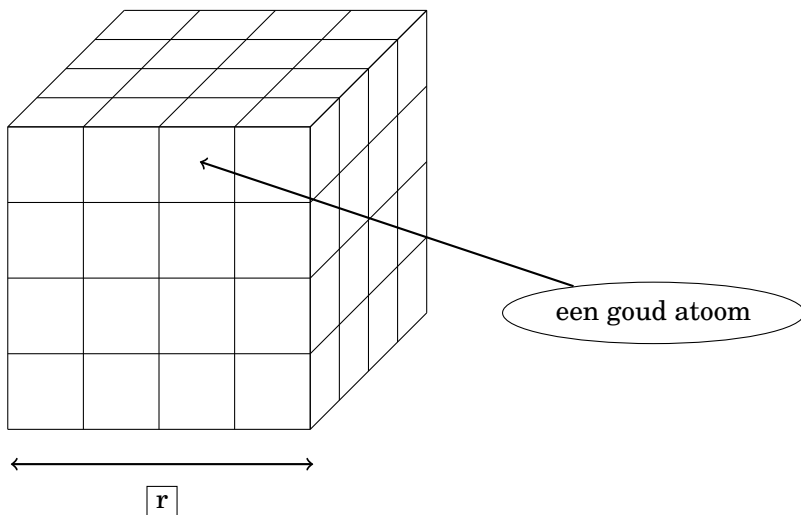
(a) atomen te onderzoeken?

---

---

---

---



(b) protonen en neutronen te onderzoeken?

(hint: Bedenk dat materie een golflengte heeft (de Broglie <sup>1</sup> ) en dat de resolutie voor waarneming afhangt van de golflengte van het deeltje wat voor detectie moet zorgen.)

---



---



---



---

**Opdracht 3:** Doordat we de afmetingen van neutronen en protonen weten, kunnen we schatten wat de massa is van het deeltje, dat voor de interactie tussen die twee zorgt. Gebruik hierbij de onzekerheidsrelatie van Heisenberg en de tijd die een deeltje nodig heeft om een afstand in de orde van grootte van een kerndeeltje af te leggen. De afstand tussen twee nucleonen is in de orde van  $10^{-15}$  m.

---



---



---



---

## 4 Versnellers

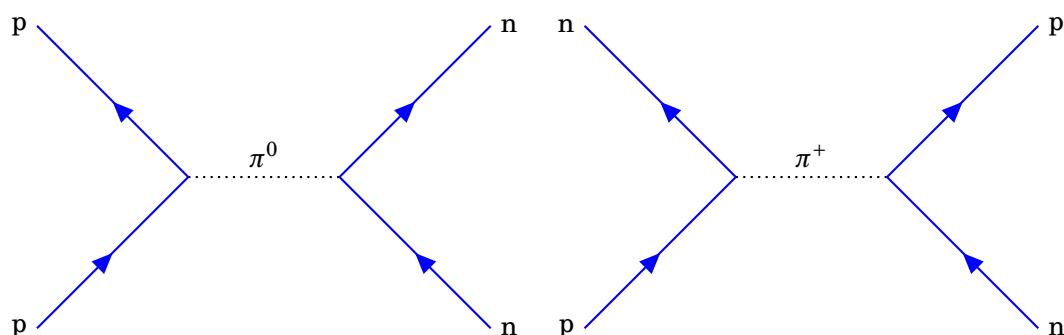
In de LHC guide (die je kunt downloaden van de Cern site) vind je informatie over de LHC en over de bundels protonen, die deze versneller tot dichtbij de lichtsnelheid en vervolgens laat botsen in detectoren zoals CMS en ATLAS. Om een betere voorstelling te kunnen maken gaan we even rekenen aan de eigenschappen van de protonen bundels in de LHC.

**Opdracht 4:** Vergelijk de dichtheid in een protonenbundel in de LHC met de dichtheid van zuurstof en goud (beide bij kamertemperatuur). Een bundel protonen is een cilinder met een

<sup>1</sup>zie routenet: <http://www.hisparc.nl/docent-student/lesmateriaal/routenet>

**Figuur 3.1** – Feynman voorstelling van sterke kernkracht door pionen.

(a) proton, neutron interactie met uitwisseling van  $\pi^0$ .  
(b) Interactie tussen p en n onder uitwisseling van een  $\pi^+$



lengte van 15 cm en een straal van  $17 \times 10^{-6}$  m, met zo'n  $10^{11}$  protonen. (We rekenen niet relativistisch vanuit de bundel zelf.)

---

---

---

---

## 5 LHC

In de LHC guide kun je op pagina 30 veel specificaties opzoeken over de LHC.

**Opdracht 5:** Zoek de omtrek van de LHC en de maximale magneetveldsterkte op van de supergeleidende magneten.

---

---

**Opdracht 6:** Wat is de maximale energie, die een versneller met de lengte van de LHC en het gegeven magneetveld, kan meegeven aan protonen? (hint: De middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de Lorentzkracht.)

---

---

---

---

---

**Opdracht 7:** Uit de vorige vraag vinden we dat de energie van de bundel hoger is dan 7 TeV, die genoemd is in de LHC guide. De verklaring hiervoor is dat effectieve lengte (dat is de lengte

waarin de protonen worden afgebogen) korter is. Er zijn dus ook rechte stukken in de ring van de LHC. Wat is dan effectieve lengte van de LHC uitgaande van de 7 TeV? De rustmassa van protonen is 938 MeV.

---

---

---

---

**Opdracht 8:** Op bladzijde 34 van de LHC guide kun je lezen over de ‘proton beam’ en dat elke beam bestaat uit 2835 ‘bunches’ van  $10^{11}$  protonen. Deze bunches botsen met elkaar op de plekken waar hun banen elkaar kruisen.

(a) Hoeveel botsingen van deze ‘bunches’ zijn er per seconde?

---

---

---

---

(b) Hoeveel botsingen zijn er in een run (een run duurt ongeveer 10 uur)?

---

---

**Opdracht 9:** Als een Formule 1 coureur met 320 km/h door de ring van de LHC zou rijden. Hoe lang moet hij rijden zodat hij dezelfde afstand heeft gereden als proton in de LHC in 1 s aflegt?

---

---

---

**Opdracht 10:** De LHC werkt met supergeleidende magneten, als deze aangezet worden kan de stroomsterkte in de magneten toenemen met 10 A/s. Hoe lang duurt het dan om de maximale stroomsterkte van  $11,7 \times 10^3$  A te bereiken?

---

---

---

---

**Opdracht 11:** Een buis in een deel van de LHC is ongeveer 15 m lang en gemaakt van staal. Hoeveel cm is de buis kleiner geworden als hij van kamertemperatuur 20 °C naar 1,9 K afgekoeld

wordt?

---

---

---

---

**Opdracht 12:** Hoeveel energie zit er in het totale aantal bundels protonen, die in één ring rond-draaien? De energie van de protonen is 7 TeV en er zitten  $10^{11}$  protonen in een bundel.

---

---

---

---