De antimateriefabriek

Afgelopen week vond *Strings*, de grootste jaarlijkse natuurkundeconferentie over snaartheorie, plaats op het CERN in Genève. De meeste dagen van die conferentie zijn gevuld met praatjes over de laatste ontwikkelingen op het gebied van snaartheorie, quantumzwaartekracht en kosmologie, maar QU-redacteur Jildou mocht woensdag ook een kijkje nemen in de *antimateriefabriek*. In dit artikel legt ze uit wat antimaterie is, en waarom ze er op het CERN een fabriek voor hebben.

Afbeelding 1. Antimateriefabriek in CERN. In de antimateriefabriek op het CERN maken en vertragen natuurkundigen antiprotonen, om er antiwaterstof mee te maken en experimenten mee te doen. Afbeelding via Wikipedia Commons.

Overal om je heen is materie: de lucht die je inademt, het apparaat waarop je dit artikel leest

– ook jij bent gemaakt van materie. Materie bestaat onder andere uit moleculen. Moleculen zijn opgebouwd uit atomen en atomen bevatten elementaire deeltjes, zoals protonen en elektronen. Ons begrip van de natuurkunde en de materie neemt al eeuwenlang toe en heeft geresulteerd in het standaardmodel, een uiterst succesvolle theorie voor de deeltjesfysica. Volgens dat standaardmodel zou er echter niet alleen materie moeten bestaan, maar ook antimaterie: materie die is opgebouwd uit *antideeltjes*.

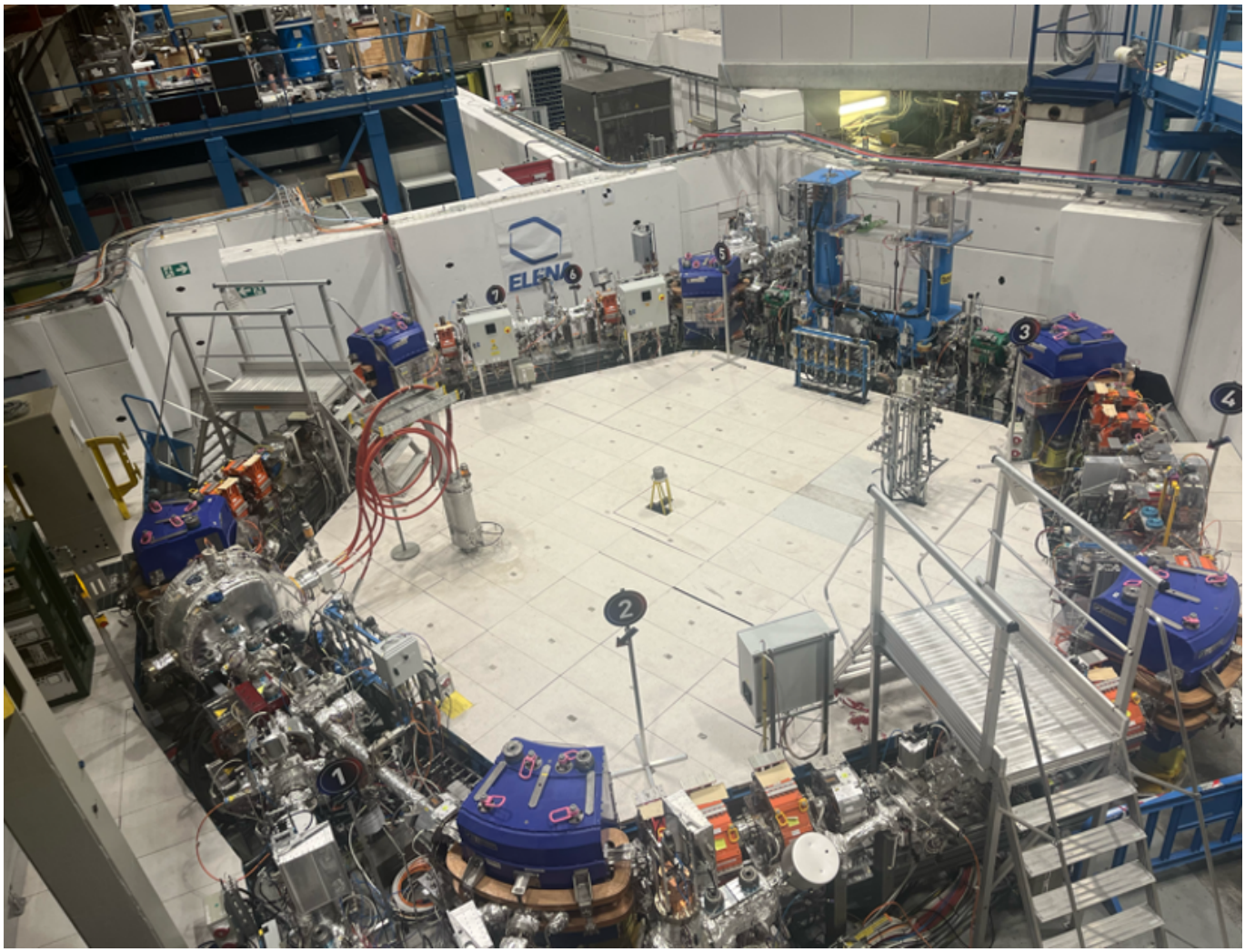
Volgens het standaardmodel heeft elk elementair deeltje zo'n antideeltje. Antideeltjes lijken heel erg op die 'gewone' deeltjes, maar dan met nét andere eigenschappen, zoals een tegenovergestelde elektrische lading. Zo is het antideeltje van een proton een antiproton, met dezelfde massa als een proton, maar negatieve – in plaats van positieve – lading. En het antideeltje van een elektron heet een positron en heeft positieve lading. Waar een waterstofatoom is opgebouwd uit een proton en een elektron, bestaat een antiwaterstofatoom dus uit een antiproton en een positron. Als een deeltje in aanraking komt met het bijbehorende antideeltje, vernietigen beide deeltjes elkaar. Bij zo'n *annihilatie* wordt de massa van het deeltje en antideeltje omgezet in pure energie, volgens Einsteins beroemde formule $E=mc^2$.

Hoewel antimaterie misschien een beetje kan klinken als een theoretisch artefact van het standaardmodel, bestaan dergelijke deeltjes wel degelijk. Bij radioactief verval van bijvoorbeeld kalium-40 – dat zit gewoon in bananen! – komen positronen vrij. Het maken van andere antideeltjes, zoals antiprotonen, is helaas wat lastiger: daarvoor heeft men in CERN de antimateriefabriek gebouwd. Hier worden antiprotonen gecreëerd, om er vervolgens experimenten mee te doen en de eigenschappen ervan te onderzoeken.

CERN is vooral bekend vanwege de LHC, de *Large Hadron Collider*. Hier worden deeltjes in een cirkelvormige tunnel versneld tot extreem hoge snelheden, om vervolgens op elkaar te botsen. Door de brokstukken van zo'n botsing te bestuderen, kunnen aspecten van het standaardmodel getest worden. In de antimateriefabriek gebruiken wetenschappers een deel van de versnelde protonen uit de *Proton Synchroton*, een andere deeltjesversneller van CERN, om antimaterie te maken. Door de versnelde protonen op een metalen muur af te vuren, ontstaan veel andere deeltjes, waaronder ook antiprotonen. Deze antiprotonen hebben echter een gigantische snelheid en gaan alle kanten op. Het is de taak van de *Antiproton Decelerator* (AD) om de antiprotonen te verzamelen in een gefocuste straal,

waarin de deeltjes langzaam genoeg gaan om experimenten mee te doen.

Zo'n deeltjesvertrager werkt bijna hetzelfde als een deeltjesversneller. Een deeltjesvertrager (of -versneller) werkt, door de deeltjes een buis in te sturen met behulp van een elektrisch veld. De lading van de deeltjes zorgt ervoor dat ze worden afgestoten (of aangetrokken) door het einde van de buis. Door zulke buizen in een ringvormige tunnel te plaatsen en het elektrische veld periodiek van richting om te wisselen, kunnen in een deeltjesversneller enorme snelheden worden bereikt. Een deeltjesvertrager kan juist deeltjes gigantisch vertragen.



Afbeelding 2. De ELENA-deeltjesvertrager.ELENA, de *Extra Low Energy Antiproton ring*, is een kleine deeltjesvertrager die de antiprotonen uit de *Antiproton Decelerator* nog verder vertraagt tot een tiende van de lichtsnelheid. Afbeelding: eigen foto.

Na enkele rondjes door de deeltjesvertragers hebben antiprotonen nog 'slechts' een snelheid van een tiende van de lichtsnelheid, een stuk handelbaarder dan de snelheden die ze aan het

begin van het proces hebben. Door positronen toe te voegen aan de vertraagde antiprotonen heeft CERN zo ook echt antiwaterstof weten te maken! Zo'n antiatoom bestaat echter niet heel lang: zodra het in aanraking komt met materie, wordt het antiwaterstof geannihileerd en komt er energie vrij. Het record voor het bewaren van antimaterie stamt uit 2011, toen is het CERN gelukt antiwaterstof 16 minuten te bewaren.

Als het maken van antimaterie eenmaal gelukt is, kan er ook onderzoek naar worden gedaan. Een van de vragen die men bij CERN hoopt te beantwoorden, is waarom ons heelal bestaat uit materie en niet uit antimaterie. Volgens het standaardmodel zou er bij de oerknal evenveel materie als antimaterie moeten zijn ontstaan. In principe zou toen alle materie en antimaterie met elkaar geannihileerd moeten zijn, en zou er alleen nog energie over zijn gebleven, voornamelijk in de vorm van licht. Maar wij bestaan, en we bestaan uit materie. Er is dus bij of na de oerknal een kleine asymmetrie ontstaan tussen de materie en antimaterie, waardoor nu vrijwel alleen nog materie over is gebleven. Natuurkundigen buigen zich al heel lang over de vraag waar die asymmetrie vandaan komt. Door het gedrag van antimaterie beter te bestuderen, hopen ze hier een verklaring voor te vinden.

Een van de geopperde verklaringen is dat zwaartekracht anders zou werken op antimaterie dan op materie. Materie trekt materie aan door middel van zwaartekracht, maar volgens deze theorie zouden materie en antimaterie elkaar juist afstoten, als een soort antizwaartekracht. Bij de oerknal zou dit effect van de zwaartekracht ervoor kunnen hebben gezorgd dat de materie en de antimaterie zich van elkaar hebben gescheiden, waardoor wij nu alleen nog maar materie zien. De antimaterie zou zich dan buiten ons waarneembare heelal bevinden. Bij CERN hebben natuurkundigen deze theorie getest door de antiwaterstofatomen letterlijk te laten vallen en te observeren wat er gebeurde: valt antimaterie omhoog of omlaag?

Vorig jaar september publiceerden de onderzoekers van CERN hun resultaat: antimaterie valt ook gewoon omlaag. Dit was geen grote schok onder wetenschappers: de algemene relativiteitstheorie van Einstein, die zwaartekracht beschrijft, maakt geen onderscheid tussen materie en antimaterie. Toch is het resultaat belangrijk: als antimaterie omhoog zou vallen onder invloed van zwaartekracht, zouden we onze hele theorie van de zwaartekracht op de schop moeten nemen. De algemene relativiteit blijft voorlopig overeind, maar daarmee ook het raadsel van de onverklaarbare materie/antimaterie-asymmetrie…