

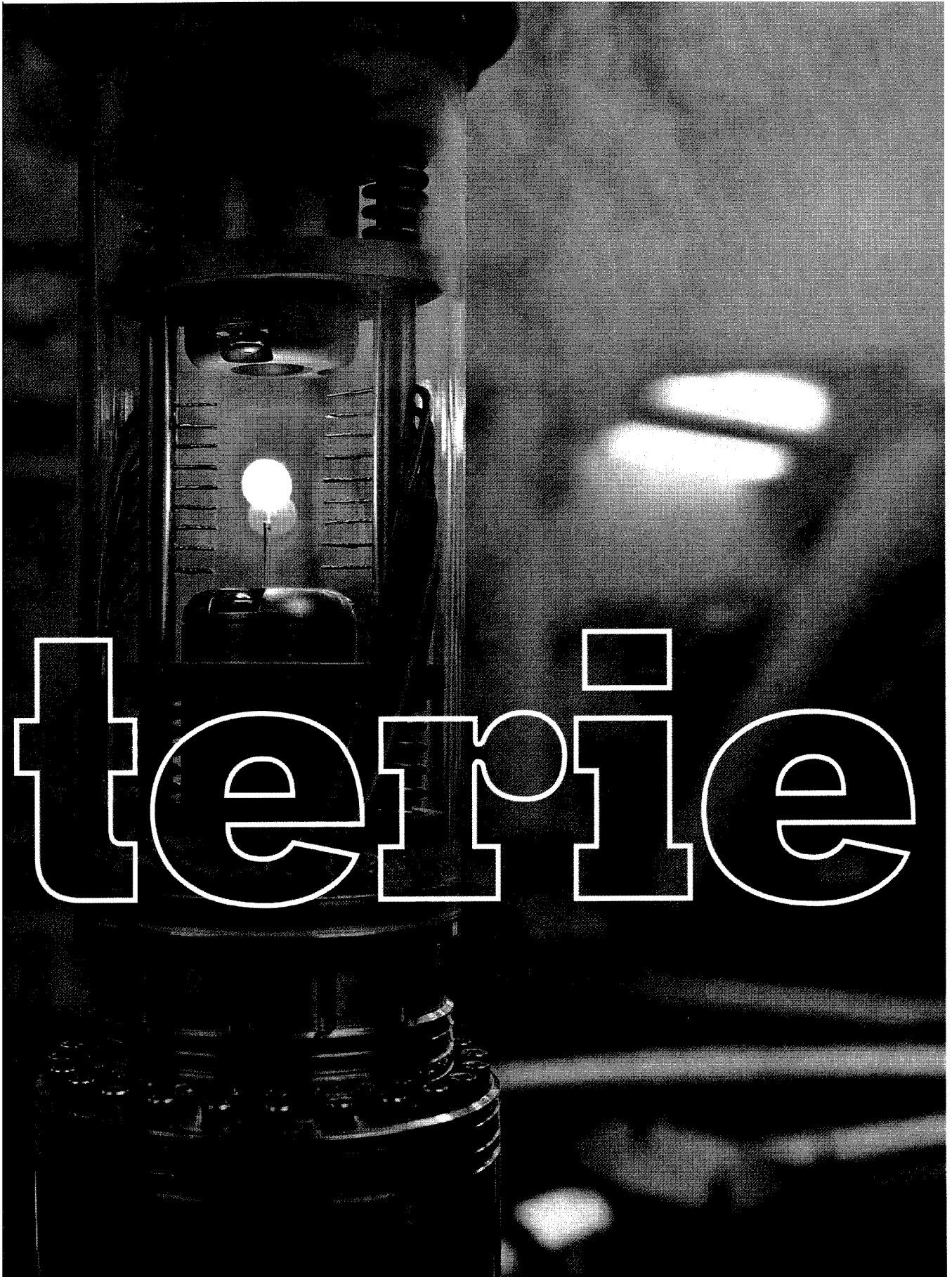
De waarheid over

anti-
md

KUN JE ER NOU EEN BOM MEE MAKEN OF NIET?

Op 13 mei gaat de thriller 'Angels & demons – Het Bernini mysterie' in première. Centraal in deze film staat een poging om het Vaticaan op te blazen met een antimateriebom. Maar hoe realistisch is dat scenario? En wat is het échte verhaal achter antimaterie?

Tekst Je



CERN heeft een boel uit te leggen. Eerst zou hun Large Hadron Collider een zwart gat gaan maken dat de aarde zou verzwellen. En nu versijnt 'Angels & demons – Het Bernini mysterie', een film waarin we worden gewezen op de explosieve kracht van antimaterie, gemaakt in een CERN-deeltjesversneller. 'Wat zijn ze daar op de Zwitsers-Franse grens toch allemaal aan het doen?', zullen veel niet-ingewijden zich afvragen. 'Is al dat geëxperimenteer wel verantwoord?' Aan de andere kant: iedereen weet nu wél dat CERN bestaat en waarmee het instituut zich in grote lijnen bezighoudt. Oftewel: al die paranoïa is onbedoeld een heel effectieve reclamecampagne gebleken. Het is alleen jammer dat er vervolgens allerlei mensen rondlopen met een niet geheel kloppend – of geheel niet kloppend – beeld van de wetenschap achter, in dit geval, antimaterie. Tijd dus om in KIJK het echte verhaal uit de doeken te doen.

Meer dan twee atoombommen

In een notendop is het idee achter antimaterie dat er voor elk deeltje een antideeltje bestaat, dat dezelfde massa heeft, maar een tegengestelde elektrische lading. Het antideeltje van het negatief geladen elektron is bijvoorbeeld het positief geladen positron (ook wel anti-elektron genoemd), terwijl bij het positief geladen proton een negatief geladen antiproton hoort.

Vreemd is het niet dat Dan Brown in zijn thriller met dit gegeven aan de haal ging; antimaterie is gevaarlijk. Breng je een antideeltje in contact met het corresponderende gewone deeltje, dan verdwijnen beide in een flits. Hierbij wordt de totale massa omgezet in energie, en die kan flink wat vernieling teweeg brengen. Over hoeveel energie hebben we het dan? Dat is uit te rekenen met Albert Einsteins beroemde formule

$E=mc^2$. Die zegt: de energie die besloten ligt in een deeltje (E) is gelijk aan de massa van dat deeltje (m), maal de lichtsnelheid (c) in het kwadraat. Vullen we voor de massa 0,001 kilogram in en voor de lichtsnelheid 300 miljoen meter per seconde, dan krijgen we een energie van 9 biljard (10^{12}) joule: de energie die vrijkomt als één gram antimaterie wordt vernietigd. Maar daarmee zijn we er nog niet. Want tegelijk met deze gram antimaterie verdwijnt óók de gram materie waarmee de antimaterie in contact is gebracht. Dat levert nog eens 9 biljard joule op, waarmee de totale energie komt op 18 biljard joule. Ter vergelijking: dat is meer energie dan vrijkwam bij de ontploffing van de atoombommen op Hiroshima en Nagasaki bij elkaar! Dat een relatief kleine hoeveelheid antimaterie een geducht wapen zou zijn, staat dus buiten kijf.

Groeiende bubbel

Gelukkig voor ons lijkt antimaterie nauwelijks voor te komen in ons heelal; alles om ons heen is gemaakt van gewone materie. Maar voor de wetenschap vormt dat laatste een groot raadsel. Na de oerknal zou er namelijk evenveel materie als antimaterie moeten zijn ontstaan. Waar is al die antimaterie gebleven? Of eigenlijk: waarom is ons heelal niet leeg? Want als je begint met evenveel materie als antimaterie, zouden de twee elkaar lang geleden moeten hebben vernietigd. Blijkbaar was er dus net ietsje meer materie. Om precies te zijn: op elk miljard antimateriedeeltjes moeten er 1 miljard plus 1 gewone deeltjes zijn gevormd. Waar kwam dat minieme overschot vandaan? Een uitleg die rijmt met onze huidige theorieën, is de volgende. Toen het heelal nog maar een triljoenste van een seconde oud was, en een temperatuur had van 10^{15} graden Celsius, vond er een overgang plaats waarbij de deeltjes hun massa kregen (daarvoor waren ze allemaal massaloos). Maar deze verandering gebeurde niet overal tegelijk; er was een groeiende bubbel, waarbinnen de deeltjes al een massa hadden, terwijl dat daarbuiten nog niet het geval was. Het punt is, zo stellen de natuurkundigen Helen Quinn en Yossi Nir in het tijdschrift New Scientist, dat het voor een deeltje iets makkelijker is om door deze

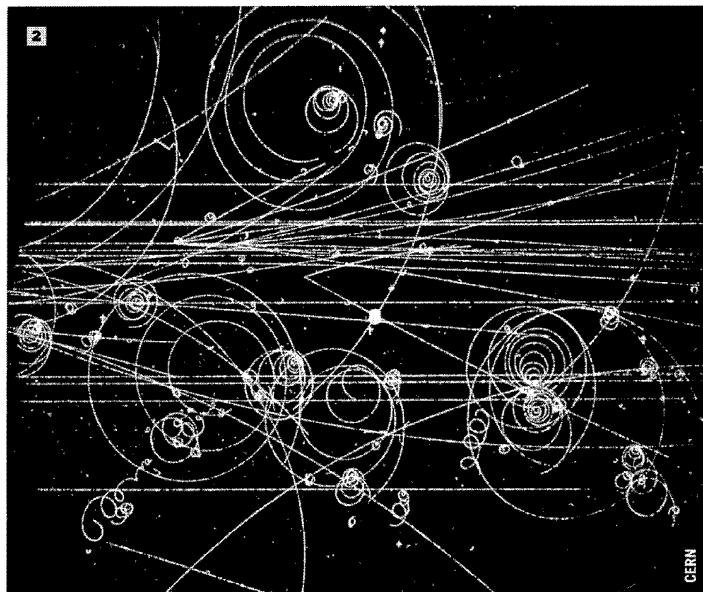
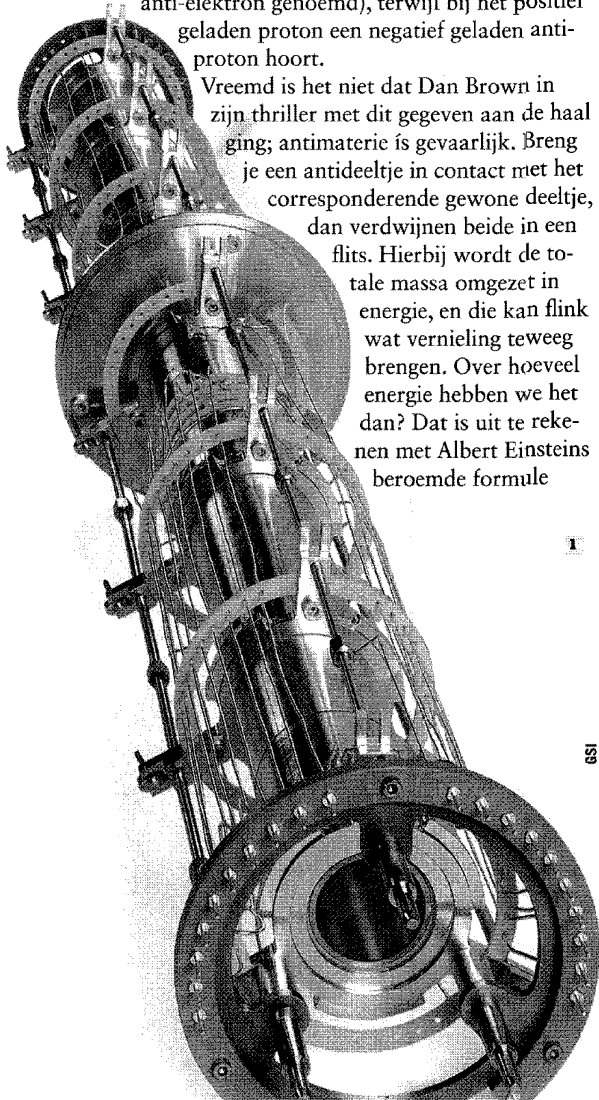
1 Om antimaterie te kunnen opslaan, werd de Penningvat bedacht. Hierbij zorgen elektrische en magnetische velden ervoor dat antideeltjes in het midden van de cilinder blijven zweven.

2 Met een *bubble chamber* kunnen de paden van langzichende deeltjes zichtbaar worden gemaakt.

3 In 2002 slaagde het CERN-experiment ATHENA er voor het eerst in om grote hoeveelheden antiwaterstofatomen te maken met een lage energie.

4 Een antiwaterstofatoom bestaat uit een antiproton en een anti-elektron. Hier is te zien wat er gebeurt als zo'n deeltje met gewone materie in contact komt: het verdwijnt, waarbij fotonen (de roze vlakken) en andere deeltjes (geel) ontstaan.

5 Natuurkundige Paul Dirac (rechts) stelde in 1928 dat er naast gewone elektronen ook anti-elektronen bestaan: deeltjes met dezelfde massa, maar een tegengestelde lading. Links van hem zijn beroemde collega Wolfgang Pauli.



ACHT 'ANGELS & DEMONS'-FOUTEN

In de roman 'Angels & demons' ('Het Bernini mysterie') slaat auteur Dan Brown omtrent antimaterie en CERN een aantal keer de plank mis. Acht fouten waarvan we hopen dat ze niet voor zullen komen in de verfilming die op 13 mei in première gaat:

1 CERN is er onlangs voor het eerst in geslaagd antimaterie te maken.

CERN maakt al tientallen jaren antideeltjes en is daarmee niet de enige. Misschien bedoelde Brown anti-atomen; deeltjes antiwaterstof die uit een antiprotone en een anti-elektron bestaan. Die werden in 1995 voor het eerst door CERN gemaakt.

2 Antimaterie is een veelbelovende energiebron.

Het klopt dat je, als je eenmaal antimaterie hebt, heel veel energie kunt opwekken. Helaas kost het nog veel méér energie om antimaterie te maken. Als energiebron zullen we er dus weinig aan hebben.

3 Antimaterie is instabiel.

Antimaterie is net zo stabiel als gewone materie. Je moet de twee alleen niet bij elkaar laten komen.

4 Wetenschappers weten sinds 1918 dat er bij de oerknal materie en antimaterie ontstonden.

In 1918 wisten we nog niet eens dat het heelal begon met een oerknal. En het idee dat er antideeltjes zouden moeten bestaan, werd pas voor het eerst geopperd in 1928.

5 Met een deeltjesversneller kun je een kwart gram antimaterie maken.

Dat zou onpraktisch veel tijd kosten. Het record van de grootste productie van antiprotonen op aarde, Fermilab in de VS, is 100 biljoen antiprotonen in één maand. Met dat tempo is er 150.000 jaar nodig om een kwart gram te produceren. En dan moet je de groeiende voorraad ook nog eens al die tijd kunnen opslaan.

6 De CERN-gebouwen zijn opgetrokken uit rode bakstenen, met esdoorns ertussen.

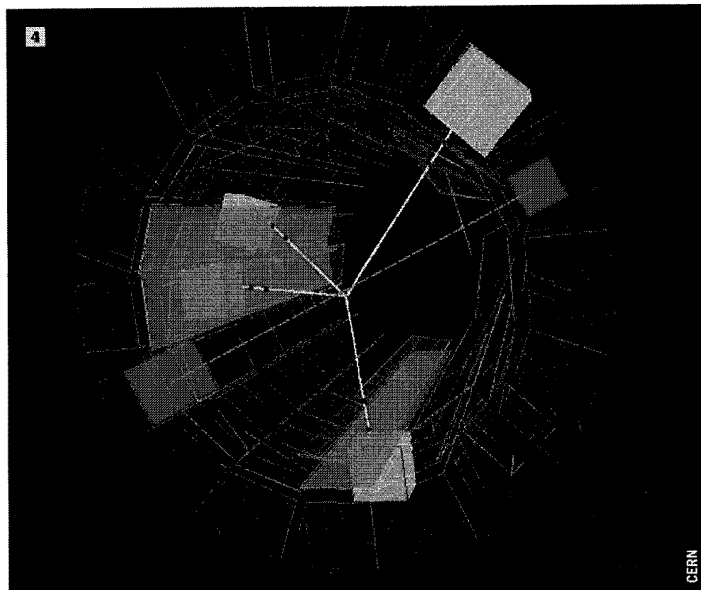
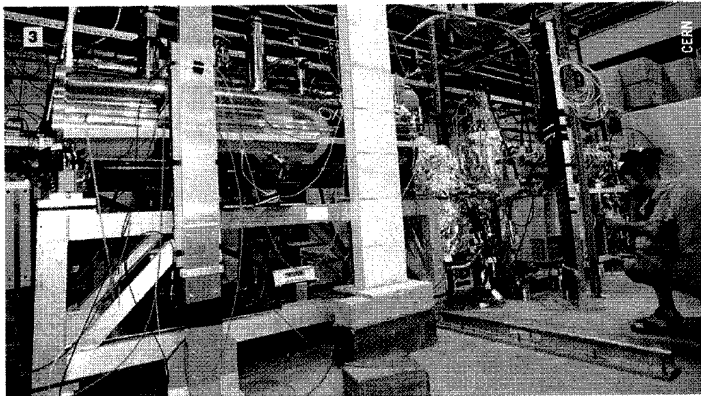
Dat klinkt meer als een Amerikaanse campus. CERN bestaat toch echt voornamelijk uit witte, betonnen gebouwen.

7 CERN heeft een Boeing X-33, die een snelheid van Mach 15 haalt.

Mochten ze willen.

8 Maar heeft CERN dan wel eigen supermarkten, een ziekenhuis, een bioscoop en een gebouw waar medewerkers indoor kunnen skydiven, zoals in het boek staat?

Eh... Er is een auditorium voor conferenties dat af en toe wordt gebruikt om een film te vertonen. Voor de rest: nee.



1928

De Brit Paul Dirac voorspelt dat er naast het elektron ook een anti-elektron (of positron) moet bestaan, met een tegengestelde lading.

1932

De Amerikaan Carl Anderson neemt het door Dirac voorspelde positron waar bij een experiment.

1941

Ernst Stückelberg, een Zwitserse wetenschapper, stelt dat antideeltjes kunnen worden gezien als gewone deeltjes die terug reizen in de tijd.

1955

Wetenschappers nemen de eerste antiprotonen waar.

1956

Ook het antineutron wordt toegevoegd aan het lijstje van waargenomen antideeltjes. (Hoewel het neutron elektrisch neutraal is, heeft het toch een - eveneens neutraal - antideeltje. Het verschil zit hem erin dat het neutron bestaat uit drie quarks en het antineutron uit drie anti-quarks.)

1964

Tot op dit moment nemen natuurkundigen aan dat de natuurwetten onveranderd blijven als je een deeltje vervangt door het corresponderende anti-deeltje én het spiegelt. Experimenten met het zogenoemde langlevende kaon (een deeltje bestaand uit een quark en een anti-quark) laten zien dat dit niet altijd het geval is.

1965

Het Amerikaanse Brookhaven National Laboratory en CERN slagen er beide in om een antiproton en een antineutron samen te voegen tot een antideuterondeeltje.

1967

De Rus Andrei Sakharov stelt de drie voorwaarden op waaraan moet worden voldaan, wil er na de oerknal meer materie dan antimaterie ontstaan.

1973

De Japanners Makoto Kobayashi en Toshitane Maskawa kunnen de waarneming van 1964 verklaren als er zes quarks zijn in plaats van vier. Die laatste twee quarks, bottom en top, worden later onderhand gevonden.

1984

De Britse Amerikaanse natuurkundige Peter Dinkler ontdekt de Higgsboson, waartoe antideeltjes kunnen worden gemaakt.

1995

Wetenschappers aan het CERN ontdekken de eerste antineutrino's.

2009

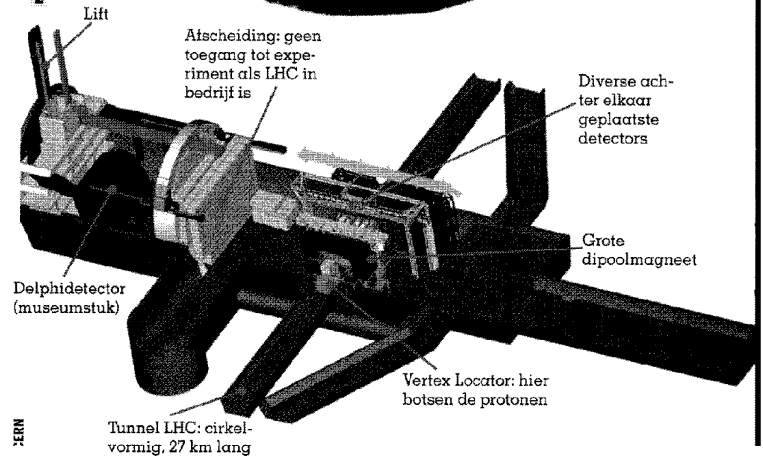
De eerste antideeltjes worden gebruikt voor de productie van antihydrogenuit.

1



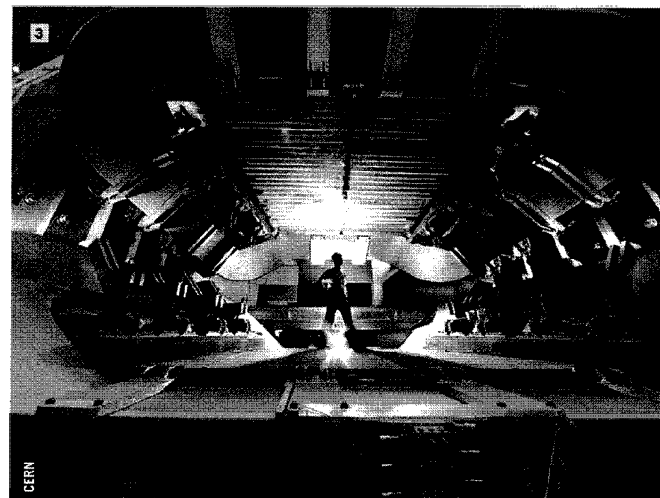
Lawrence Berkeley National Laboratory

2



CERN

3



CERN

bubbel te worden opgeslokt dan voor een antideeltje. Daardoor bevatte de bubbel een overschot aan deeltjes – en die bubbel groeide uit tot ons huidige heelal. Helaas levert dit scenario alleen een veel te klein verschil op tussen de hoeveelheid materie en antimaterie om er ons heelal mee te kunnen verklaren. We zullen dus op zoek moeten naar andere mechanismes die ervoor konden zorgen dat er vlak na de oerknal materie overbleef.

Superdeeltjes

Een idee dat daarbij kan helpen, is supersymmetrie. Hierbij wordt aangenomen dat er voor elk type deeltje een zogeheten superpartner is. Aanvankelijk kwamen deeltjes en superdeeltjes allebei in ons heelal voor. Maar 10^{-35} seconde na de oerknal veranderde dat. De supersymmetrie werd gebroken, waardoor de superdeeltjes verdwenen.

Zou het bovenstaande verhaal kloppen, dan kunnen wetenschappers daarmee manieren bedenken waarop de antimaterie-materiebalans kon doorslaan naar de kant van de materie. Maar, zo waarschuwt natuurkundige Marcel Merk, nauw betrokken bij het onderzoek naar het antimaterieprobleem: “Dit is allemaal heel speculatief! Er zijn nog nooit supersymmetrische deeltjes waargenomen.”

Een andere mogelijke oplossing voor het antimaterieprobleem zit hem in de neutrino's. Sinds 1998 weten we van deze elementaire deeltjes dat ze niet massaloos zijn, maar een heel kleine massa hebben. Om te verklaren waarom die massa bijna-nul-maar-niet-helemaal-nul is, is het *seesaw*-mechanisme bedacht. Daarbij worden aan de drie heel lichte neutrinosoorten (het elektron-, het muon- en het tau-neutrino) zware neutrinosoorten toegevoegd: steriele neutrino's. Deze nooit waargenomen kolossen (naar elementairedeeltjesbegrippen dan) reizen ongehinderd door het heelal, tot ze uit elkaar vallen in of neutrino's, of antineutrino's. Belangrijk daarbij is dat dit verval vaker antineutrino's dan neutrino's oplevert. Bij de hoge temperaturen die heersten vlak na de oerknal, kunnen namelijk reacties optreden waarbij deze antineutrino's veranderen in normale materie. Hierdoor zouden steriele neutrino's dus het overschot aan materie ten opzichte van antimaterie kunnen verklaren.

Als dit deeltje bestaat, tenminste. En zelfs als het bestaat, is het nog maar zeer de vraag of we het ooit zullen waarnemen. “Er is waarschijnlijk geen manier om deze neutrino's in het lab te maken en hun verval te bestuderen”, schrijven Quinn en Nir. “Daar zijn ze te zwaar voor, en de wisselwerkingen tussen deze en andere deeltjes te zwak.”

Geen doosje antimaterie

Waardoor het komt dat er vlak na de oerknal net iets meer materie dan antimaterie was, is dus op zijn minst voorlopig nog een raadsel. Maar wat de echte reden ook is, feit blijft dat antimaterie ‘in het wild’ nauwelijks te vinden is. Als we er hier op aarde iets mee willen doen, zullen we het dus eerst zelf moeten maken. En dat doen we ook, door in deeltjesversnellers als die van CERN deeltjes met grote snelheid op elkaar te laten botsen. (Dat is overigens niets nieuws, zoals Dan Brown lijkt te denken.)

Het probleem is alleen dat het hier, naar praktische begrippen, om minuscule beetjes gaat. Neem bijvoorbeeld het Amerikaanse Fermilab. Dat produceerde in juni 2007 een recordaantal van 100 biljoen antiprotonen. Dat lijkt heel wat, maar zou het lab erin slagen dat tempo een jaar lang vol te houden, dan levert ons dat slechts 1,5 miljardste van een gram antimaterie op. Bringen we die hoeveelheid in contact met 1,5 miljardste gram materie, dan komt daarbij 270 joule energie vrij. “Daarmee kun je een zwakke gloeilamp precies vijf seconden laten branden”, schrijft natuurkundige Frank Close in zijn boek ‘Antimatter’. Het moge duidelijk zijn dat we daarmee nog een heel eind verwijderd zijn van een bom waarmee het optrekje van de paus in één grote krater is te veranderen.

Mochten we toch het geduld hebben om in duizenden jaren tijd een grote hoeveelheid antimaterie te produceren, dan botsen we op een ander probleem: hoe bewaar je die groeiende voorraad? Je kunt antimateriedeeltjes namelijk niet zomaar in een doos stoppen; zo gauw ze in contact komen met de binnenkant van die doos, verdwijnen ze. Gelukkig is er voor dat probleem een oplossing: de Penningval, bedacht in 1984. Hierbij worden magnetische en elektrische velden gebruikt om antideeltjes te laten zweven in het midden van een holle cilinder.

Wordt daarmee het scenario van Brown – op de heel erg lange termijn – toch nog een mogelijkheid? Nee. Want hoe meer antideeltjes met een gelijke elektrische lading je in een Penningval stopt, hoe sterker die elkaar afstoten. “Daardoor is het onmogelijk om een grote hoeveelheid bij elkaar te bewaren”, aldus Close. “De afstotende krachten worden al snel zo groot, dat de magnetische val ze niet meer onder controle kan houden.”

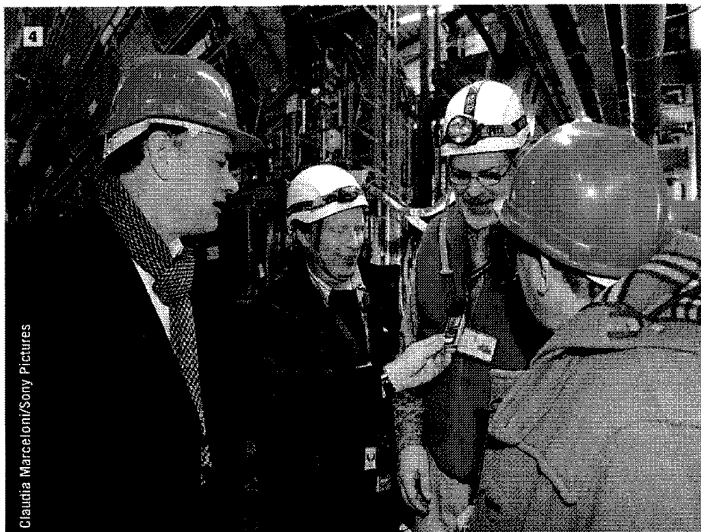
Maar kunnen we misschien dan wel iets met zogenoemde neutrale antideeltjes? Te denken valt bijvoorbeeld aan antiwaterstofatomen, die elk bestaan uit een antiproton (negatief geladen) en een antielektron (positief), waardoor ze netto de lading 0 hebben. Helaas kunnen we die mogelijkheid nog veel sneller afstrepen. De Penningval heeft met zijn elektrische en magnetische velden namelijk alleen grip op antideeltjes mét een lading. Neutrale antideeltjes zweven er zo uit. Om vervolgens binnen

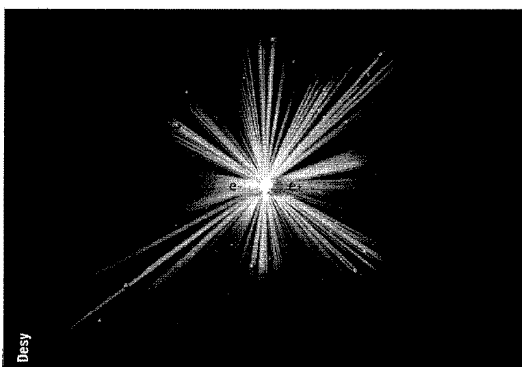
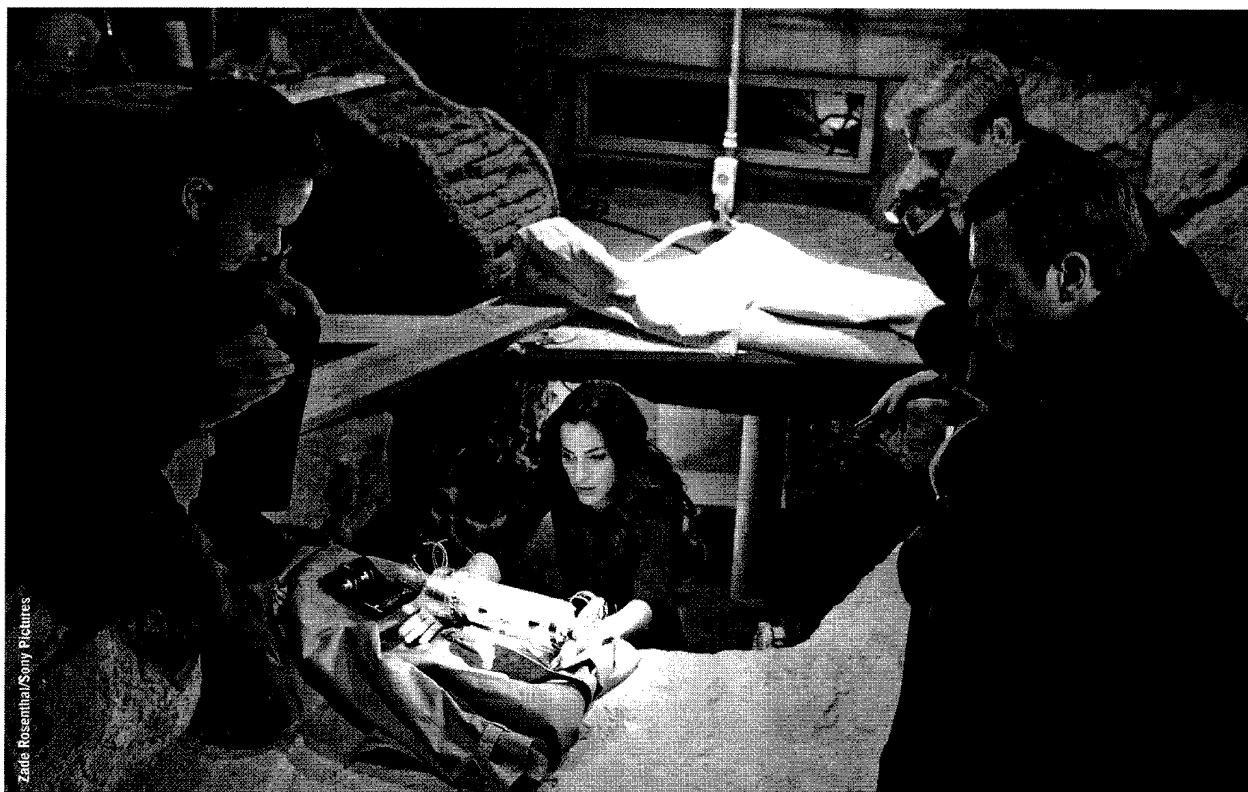
1 Foto van de eerste waarneming van een positron of anti-elektron, door Carl Anderson in 1932. De horizontale streep is een plaat lood van 6 millimeter dik. Het pad van het positron is de kromme ‘kras’ die daar doorheen gaat.

2 Schematische weergave van het experiment LHCb, dat staat opgesteld langs de 27 kilometer lange tunnel van de LHC, CERN's nieuwe deeltjesversneller.

3 LHCb moet het verval bestuderen van deeltjes die een zogenaamde bottom-quark bevatten en zo meer licht werpen op de raadsels rond antimaterie. Hier een blik in de 4500 ton wegende opstelling in aanbouw.

4 Tom Hanks, hoofdrolspeler van ‘Angels & demons - Het Bernini Mysterie’, op bezoek bij CERN.





de kortste keren een stukje materie tegen het lijf te lopen en te verdwijnen.

Energiebron?

De bom van Brown is dus zonder meer fictie. Helaas geldt hetzelfde voor een ander idee dat in het boek naar voren wordt geschoven: antimaterie als veelbelovende energiebron. Ja, een explosie waarbij een deeltje en een antideeltje samen verdwijnen, is heel efficiënt, want hun massa wordt volledig omgezet in energie. Ter vergelijking: bij kernenergie wordt maar 1 procent van de energie die in materie opgesloten zit vrijgemaakt, en bij chemische reacties nog veel minder. In die zin klinkt antimaterie dus veelbelovend. Maar naast de bovengenoemde problemen met het produceren en opslaan van antimaterie, is er voor energiewinning een nog veel fundamenteeler bezwaar. Het kost namelijk veel meer energie om antideeltjes te maken dan ze opleveren. En dat zal ook niet veranderen, stelt Close. "Zelfs als we het productieproces van antimaterie veel efficiënter maken, krijgen we er nooit méér energie uit dan we erin hebben gestopt. Dat is geen kwestie van meer onderzoek of betere technolo-

gie, zodat we om die beperking heen kunnen werken. Zo zit de natuur nu eenmaal in elkaar."

Kortom, zowel de angst dat CERN een gevaarlijk wapen kan maken, als de verwachting dat hier de energiebron vandaan zal komen die al onze problemen oplost, is onzin. Toch brengt 'Angels & demons – Het Bernini Mysterie' die ideeën min of meer als feiten voor het voetlicht.

Is de film – en het boek – daarmee een bron van ergernis voor natuurwetenschappers? Dat verschilt. Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft zei een paar jaar geleden in KIJK dat hij de roman al snel terzijde had gelegd, omdat het hem te gortig werd. Maar Marcel Merk is milder. "Ik heb het boek met veel plezier gelezen", zegt de bijzonder hoogleraar. "Het is wat mij betreft een jongensroman, waarvan je kunt genieten als je alle werkelijkheidszin even overboord gooit. De truc van Brown is dat hij kleine, wetenschappelijk correcte feitjes combineert met de grootste onzin. Persoonlijk stoort me dat totaal niet, maar het is weleens vermoeiend als mensen blijven aandringen, met argumenten die kant noch wal raken. Toch denk ik dat we niet mogen klagen. De deeltjesfysica heeft dankzij dit boek ook veel aandacht gekregen. Wat mij betreft mag dat weer gebeuren als de film uitkomt."

Jean-Paul Keulen sprak voor dit artikel met prof. dr. Marcel Merk, programmaleider van het B-fysicaonderzoek in Nederland en bijzonder hoogleraar aan de Vrije Universiteit in Amsterdam, en met Renilde Vanden Broeck van CERN. Verder gebruikte hij de volgende literatuur:

- > Dan Brown: *Angels & Demons* Corgi (2001)
- > Frank Close: *Antimatter* Oxford University Press (2009)
- > Helen Quinn en Yossi Nir: *How the cosmos was conquered* New Scientist (12 april 2008)

Ga voor de geraadpleegde sites naar www.kijk.nl/links

▲ In de film 'Angels & demons – Het Bernini Mysterie' bedreigt een antimateriebom het Vaticaan.

◀ Als een elektron (groen) en een positron (rood) met elkaar in contact komen, annihileren ze elkaar. Hierbij wordt de massa van beide deeltjes omgezet in energie.