

NATUURKUNDE

Op stap met een deeltjesdetector

Met een apparaatje zo groot als een pakje boter kun je allerlei soorten straling meten. Bijvoorbeeld in de Amsterdamse metro of op de Vaalserberg.

Door onze medewerker

Dorine Schenk

Er verschijnen steeds meer gekleurde stipjes en streepjes op het zwarte scherm. „Is er hier nog zó veel straling?“, vraagt Michiel Jonker verbaasd. Hij is woordvoerder metro en tram van de gemeente Amsterdam en we staan ruim vijftien meter onder de grond, diep onder de treinsporen van station Amsterdam Centraal. Over ongeveer acht maanden rijdt hier de metro van Amsterdam Zuid naar Noord. Nu lopen er nog bouwvakkers rond die de laatste hand leggen aan de Noord/Zuidlijn. Ook wij hebben bouwhelmen op en laarzen aan. En we hebben een deeltjesdetector meegenomen. We zijn hier om de hoeveelheid kosmische straling te meten die nog door de atmosfeer, ruim vijf meter zand én twee meter beton heeft weten door te dringen. De detector, genaamd Medipix, is een stralingsmeter die van alle markten thuis is. Net als een Geigerteller telt hij hoeveel straling er is. Daarnaast kan hij verschillende soorten straling onderscheiden (zie inzet). Onderzoekers kijken hoe deze techniek CT-scanners kan verbeteren. Kosmische straling bestaat uit deeltjes, vooral atoomkernen die vanuit sterren met een hoge snelheid in de richting van de aarde vliegen. Ze ontstaan meestal bij krachtige processen, zoals wanneer een ster aan het eind van zijn leven explodeert. De meeste deeltjes die we die dag nog in de metrotunnel zien, zijn afkomstig van de deeltjesstroom die ontstaat als een buitenaardse atoomkern in de atmosfeer aankomt en botst met moleculen in de lucht. Hierbij ontstaan geladen deeltjes zoals elektronen en hun zwaardere broertjes de muonen, die vervolgens zelf ook weer botsen met moleculen in de lucht, waardoor er een lawine van deeltjes ontstaat. Die straling meten we op aarde als een altijd aanwezige achtergrondstraling.

Naar de Vaalserberg
„Kosmische straling is er altijd, overal“, vertelt Martin Fransen van het onderzoeksinstituut Nikhef in Amsterdam. Hij is minder verrast door de meting onder het station: „Zelfs meters onder de grond ontkom je er niet aan!“ En hoe hoger je komt, hoe meer straling je ontvangt. Op een hoogte van ongeveer tien kilometer, waar de meeste vliegtuigen vliegen, is de hoeveelheid straling die je ontvangt maar liefst honderd keer meer dan op zeeniveau. Want hoe hoger je komt, hoe minder lucht er boven je zit die kosmische straling tegen kan houden.

Daarom namen we de detector ook een dagje mee naar de Vaalserberg in Limburg – het hoogste punt van Nederland – om daar, op 322 meter hoogte, de straling te meten. Waar die dag behalve de altijd aanwezige kosmische straling ook miezerige regen uit de lucht viel. Fransen verwachtte daar meer met de detector te kunnen vangen dan we zagen in Amsterdam. Maar de metingen vielen tegen. Zelfs het hoogste punt in ons platte land bleek niet hoog genoeg om een toename Het hoogste punt in ons land bleek niet hoog genoeg om

een toename in kosmische straling te zien

in kosmische straling te zien. „Het laat wel zien dat je zo’n meting met aandacht (en geduld) moet doen“, mailt Fransen nadat hij de metingen nog eens goed bekeken heeft. „Wat dat betreft dus respect voor pioniers Wulf en Hess met hun elektroscoopen.“

Theodor Wulf was een Duitse natuurkundige die in 1910 een elektroscoop ontwikkelde waarmee hij de aanwezigheid van elektrisch geladen deeltjes kon meten. Hij dacht dat de achtergrondstraling van geladen deeltjes in de lucht van radioactieve materialen in de aardkorst kwam. Maar tot zijn verbazing mat hij in de mergelgrotten in Limburg minder deeltjes dan op de Eiffeltoren. Dit leidde tot de theorie dat de straling van boven kwam. Om dit te onderzoeken nam Oostenrijkse natuurkundige Victor Franz Hess een elektroscoop mee in een luchtballon. Hiermee steeg hij meer dan vijf kilometer hoogte. De straling bleek daar tweemaal zo hoog als op zeeniveau. Uit deze metingen trok Hess de conclusie dat de straling afkomstig moest zijn uit de ruimte. In 1936 ontving hij de Nobelprijs voor natuurkunde voor zijn ontdekking van kosmische straling.

De techniek in het kleine detectie-apparaatje dat we overal heen sleepten, is niet ontwikkeld voor het meten van kosmische straling. Dat we het kunnen gebruiken om muonen te meten in de Noord/Zuidlijn, is gewoon een leuk extraatje. Oorspronkelijk is de techniek ont-



wikkeld voor de LHC, de grote deeltjes-versneller van CERN in Genève. Daar worden protonen (waterstofkernen) met een snelheid die de lichtsnelheid nadert, op elkaar geschoten. Hierbij ontstaat in een fractie van een seconde een grote hoeveelheid deeltjes. Die worden met detectoren zoals die van de Medipix gemeten. Door precies te analyseren welke deeltjes bij de botsingen ontstaan, hopen natuurkundigen meer te leren over de wereld om ons heen.

Uit dit zuiver wetenschappelijk onderzoek komen niet zelden praktische toepassingen voort. De Medipix is daar een goed voorbeeld van. De detector blijkt toepassingen te hebben in medisch onderzoek, omdat hij snel en met grote nauwkeurigheid röntgenstraling kan meten. Samen met een röntgenbron vormt het apparaat een uitzonderlijke goede CT-scanner.

Overleden huisvlieg

Terug op het Nikhef in Amsterdam kijken we dus hoe de Medipix het doet als röntgen-scanner. Hiervoor plaatsen we de detector in een (soort) kluis ter grootte van een flinke koelkast. Het is duidelijk een testopstelling; een ventilator is vastgezet met een *tie wrap* en op de bodem ligt een rommelige berg kabels. Bovenin zit een röntgenbron, onderin is de detector. Daartussen plaatsen we verschillende voorwerpen om te kijken hoe ze er van binnen uitzien.

Het eerste scan-object is een huisvlieg, ooit gevangen door de AW-redactie. Het inmiddels overleden insect doet het goed. Er verschijnt een prachtig ingezoomd portret op het computerscherm. Zelfs de kleine haartjes op zijn kop zijn duidelijk zichtbaar. Ook een mot, gevonden op de vensterbank, levert een mooi plaatje op. Zijn fijne vleugels zijn goed te zien. Waarom het achterlijfje er donker en in elkaar gedrukt uitziet, weten we niet. Misschien heeft de kat ermee gespeeld. De insecten zien we in zwart-wit. Hoe zwarter een gebied, hoe minder röntgenstraling erdoorheen kwam. Dat zijn dus de plekken met een hoge dichtheid van weefsel, bijvoorbeeld organen.

Maar hoeveel röntgenstraling door het object wordt opgenomen heeft niet alleen te maken met de dichtheid. Het is ook materiaalafhankelijk. De röntgenbron zendt namelijk een heel spectrum van röntgenstralen uit die allemaal net een andere golflengte hebben. Aluminium absorbeert die verschillende golflengtes waar de straling uit bestaat bijvoorbeeld in een andere verhouding dan koper dat doet. Zo kun je met de Medipix

door te kijken naar de golflengte van de straling die nog wel op de detector valt, bepalen welk materiaal je ziet.

Maar voor het maken van plaatjes van insecten heb je niet zoveel aan die kennis. „Daar bestaat alles uit koolstof, waterstof en zuurstof”, vertelt Els Koffeman, hoogleraar instrumentatie in de deeltjesfysica aan de Universiteit van Amsterdam.

„Daardoor is het onderscheid tussen verschillende soorten weefsel lastig te zien.”

In de medische wereld kunnen slechts een aantal stoffen duidelijk onderscheiden worden; bijvoorbeeld calcium in je botten of een contrastvloeistof, zoals jodium, die ingebracht wordt voor onderzoek.

Ook zijn er toepassingen in de industrie. Je kunt er bijvoorbeeld mee bepalen wat de kwaliteit van een staalplaat is. Door naar de verschillende golflengtes van de straling te kijken zijn fouten en vervuilingen op te sporen.

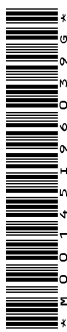
Die materiaalonderscheidende toepassing van de Medipix detector testten we ook in het rommelige lab op het Nikhef. We leggen een USB-stick in de kluis, sluiten de deur en zetten de röntgenbron aan. Op het scherm van Fransen komt dit keer een kleurenplaatje te voorschijn. „Het plastic is rood. Het aluminium van de behuizing is groen en de sterker absorberende delen zijn blauw. Dat zullen vooral metalen zijn die zwaarder zijn dan aluminium, zoals het koper op het printplaatje.” Koffeman en Fransen werken samen met de industrie aan concrete toepassingen voor de detector. Bijvoorbeeld voor de kippenslacht, waar interesse is voor een scanner die aangeeft of er nog botjes in het vlees zitten.

Maar dat is nog maar het begin. Koffeman ziet een grotere toekomst voor de detector. „Mijn droom is een scanner die een gedetailleerd beeld maakt, bijvoorbeeld van je gebit. Die informatie wordt naar een 3D-printer gestuurd. Die fabriceert vervolgens een perfect passende kroon of implantaat die zo je mond in kan. Of je kunt in het ziekenhuis je gebroken arm in een machine steken die een scan maakt en een perfect op maat gemaakte spalk voor je print. Hetzelfde zou ook moeten kunnen voor voorwerpen: als er iets kapot gaat, scan je het en print je een nieuw onderdeelje.”

Techniek

Hoe de Medipix detector werkt

De metingen in de diepte van de Noord/Zuidlijn en hoog op de Vaalserberg deden we met een Medipix detector, ter grootte van een flink pakje bo-



ter. Je sluit hem aan op accu en een laptop waar de bijbehorende software op draait en je bent klaar om te meten.

De detector meet zogenoemde ioniserende straling. Die straling bestaat uit deeltjes die genoeg energie hebben om elektronen, die in het materiaal van de detector zitten, een duw te geven. Doordat een elektron in de detector een duw krijgt, gaat er een stroompje lopen dat aangeeft waar en wanneer het deeltje door de detector heen vloog. De kracht van het stroompje is een maat voor de energie die het deeltje aan het elektron gaf. Zo wordt de plaats, tijd en energie van het passerende deeltje gemeten. **Voorbeelden van ioniserende straling zijn elektronen en muonen die afkomstig zijn van kosmische straling.** Deze deeltjes hebben zoveel energie dat ze bijna niets merken van een botsing met elektronen in de detector. Ze vliegen ongehinderd doorheen en kunnen daarom meerdere elektronen een zet geven, die

elk een stroompje opwekken. Daardoor wordt een spoor van elektrische stroompjes zichtbaar op het computerscherm.

De vorm van het spoor verbaast wat voor deeltje door de detector heen bewoog.

Een langer recht spoor duidt op een muon. Een elektron levert een kronkelig spoorje op, omdat die meer beïnvloed wordt door de botsingen en daardoor heen en weer ketst in het detector materiaal. Ioniserende straling komt ook vrij bij radioactief verval. **Er bestaan drie soorten radioactieve straling: gammastraling, bestaande uit fotonen (lichtdeeltjes), bètastraling, die bestaat uit elektronen, en alfastraling, die heliumkernen bevat.**

Deze straling zagen we bijvoorbeeld toen we in een kantoor maten. Dat was te verwachten. Het radioactieve radongas, dat in sommige gesteentes en bouwmaterialen voorkomt, zendt kleine hoeveelheden van deze deeltjes uit.

De röntgenstralen die ge-

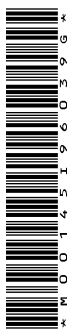
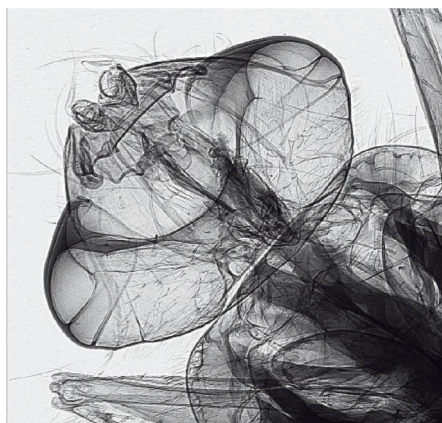
bruikt worden voor CT-scanners zijn ook ioniserend. De huidige CT-scanners meten enkel hoeveel röntgenstraling er op de detector valt. De Medipix detector kan ook de energie van die straling meten om zo meer details aan het licht te brengen. Een arts kan dan meteen kijken zij ergens een scheurtje ziet, of dat het gewoon een adertje is.

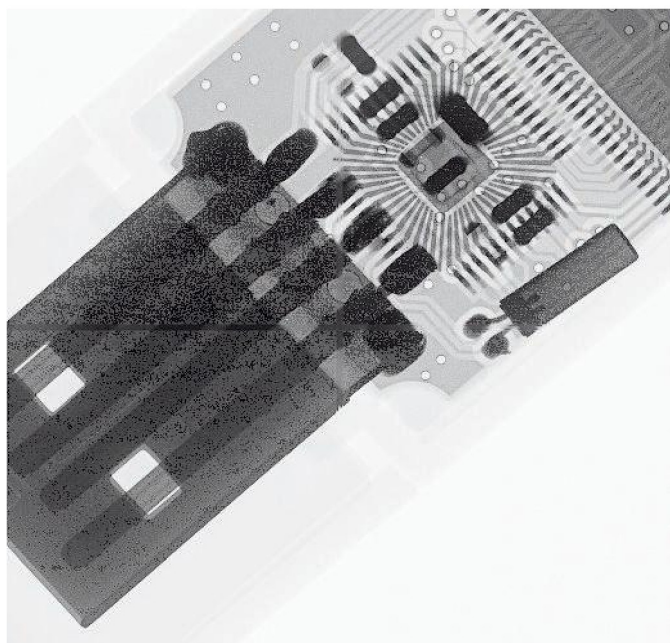
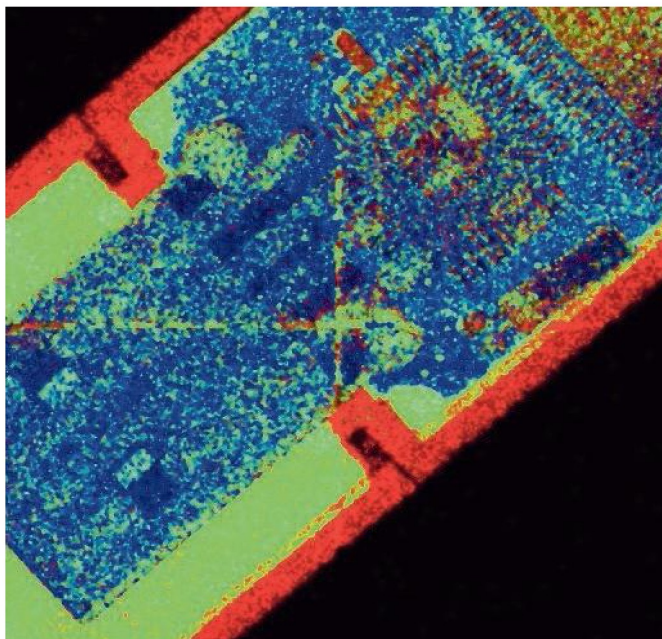
De onderzoekers op het Nikhef werken aan een nieuwe CT-scanner die dankzij de slimme Medipix detector met minder röntgenstraling betere foto's maakt, zodat patiënten aan minder straling blootgesteld worden. Hiervoor werken ze samen met het Flex-ray Lab bij Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) in Amsterdam. De onderzoekers bij het Flex-ray lab ontwikkelen algoritmes om met bruut rekenwerk de data zo snel mogelijk te verwerken.

Oorspronkelijk werd Medipix dus ontwikkeld voor experimenten in de hoge-energiefysica, zoals in de deeltjes-

versneller LHC in Genève. Maar inmiddels heeft de detector een eigen niche gevonden buiten de experimentele fysica. De techniek is verder ontwikkeld om te gebruiken in CT-scanners en andere praktische doeleinden. „Deze vernieuwde techniek dient weer als inspiratie voor nieuwe detectoren in de hoge energie fysica”, vertelt Martin Fransen. De techniek van de detector is dus via ontwikkelingen voor doeleinden buiten de hoge energie fysica weer teruggekomen bij de deeltjesversneller.

Zelf op stap met een deeltjesdetector? **De Medipix en vergelijkbare apparaten worden vooral gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek** en zijn niet of nauwelijks commercieel verkrijgbaar. En goedkoop zijn ze ook niet; de meest betaalbare is het kleine broertje, de MiniPix. Die heeft het formaat van een USB-stick en kost ruim 3.000 euro.





Röntgenfoto's van een motje, huisvlieg en USB-stick. Met de Medipix-detector werd de röntgenstraling opgevangen om de beelden te maken. De donkere gebieden de plekken aan met een hoge dichtheid aan weefsel. Bij de USB-stick geven de kleuren de verschillende materialen aan. Plastic is rood, aluminium is groen en de sterker absorberende materialen zijn blauw.

FOTO'S NIKHEF