

Ondanks honderden jaren onderzoek is het nog altijd een raadsel hoe bliksem ontstaat. Hoe komt een bliksemschicht op gang, terwijl het elektrisch veld in de wolk daar eigenlijk veel te laag voor is? Mogelijk vormen minuscule kosmische deeltjes het startschot.

Kosmische

bliksems



■ DONDER EN BLIKSEM: kinderen denken dat de wolken botsen, honden en katten schieten nerveus onder de bank en volwassenen zetten angstig alle elektrische apparatuur uit. In vervlogen tijden herkenden de Grieken, Romeinen en Germanen er zelfs de toorn van hun goden in. Onweer maakt indruk. Over de hele wereld scheren elke seconde ongeveer vijftig bliksemflitsen door onze atmosfeer. Bliksem is zo gewoon dat we tegenwoordig – met al onze wetenschappelijke bagage en ver verwijderd van de mystiek uit vroeger

tijden – wel zullen snappen hoe het werkt. Toch? Fout.

Iedereen heeft zichzelf wel eens per ongeluk een schok bezorgd – bijvoorbeeld wanneer je met je hand naar een metalen deurklink reikt als je de hele dag al een wollen trui of isolerende schoenen gedragen hebt. Wat er dan gebeurt, is al met eenvoudige natuurkunde goed te begrijpen: het ladingsverschil tussen de hand en de deurklink is groot genoeg om de isolerende werking van de tussenliggende luchtlaag te overwinnen. Het gevolg is een elektrische ontlading in de vorm van een vonk.

- Ruim 250 jaar na Benjamin Franklins beroemde vliegerexperiment is nog altijd niet volledig opgehelderd hoe bliksem ontstaat.



Het is verleidelijk om te denken dat we daarmee ook wel snappen hoe bliksem ontstaat. Al in mei 1752 voerde de Franse wetenschapper Thomas Francois D'Alibard voor het eerst succesvol een vliegerexperiment uit om te bewijzen dat onweerswolken elektrisch geladen zijn – een proef die ooit werd voorgesteld door de Amerikaanse politicus en wetenschapper Benjamin Franklin. De wolken bleken aan de onderkant negatief geladen te zijn, waardoor de negatieve lading in de grond naar beneden wordt gedrukt en de oppervlaktelaag positief geladen wordt. Het gevolg laat zich raden: een overspringende vonk, een bliksemschicht. Achter deze vereenvoudigde voorstelling van zaken gaan twee fundamentele vragen schuil: hoe bouwt de lading zich in de wolk op en – nog belangrijker – hoe start een bliksemschicht op? Nog altijd heeft niemand op die vragen een sluitend antwoord.

De zoektocht naar die antwoorden, dat is waar het om draait bij het onderzoek van Ute Ebert, specialist op het gebied van atmosferische en technische ontladingen aan het Centrum Wiskunde en Informatica in Amsterdam. Ebert legt uit dat bliksem in drie fasen ontstaat. Tijdens de eerste fase wordt de wolk elektrisch opgeladen. Dat gebeurt door enorme wervelwinden en opwaardse winden die in de onweerswolk heersen. Daarbij botst alles tegen elkaar wat zich in de wolk bevindt: waterdruppels, ijskristallen en grotere ijsdeeltjes, ook wel graupeldeeltes genoemd. Bij de botsingen pakken de grote graupeldeeltes wel eens elektronen af van de kleinere ijsdeeltjes. Door de zwaartekracht zakken de graupeldeeltes later naar beneden en vormen de negatieve onderkant van de wolk, terwijl de hoger gelegen ijsdeeltjes de positieve lading dragen. Tot zover is het proces in principe begrepen, maar waarom daarbij zulke enorme elektrische spanningen kunnen ontstaan, is nog een raadsel. Maar het resultaat is duidelijk: er vindt ladingssplitsing in de wolk plaats. Ebert vervolgt: "In de tweede fase vormt zich een voorkanaal van geleidend plasma." Dat gebeurt wanneer snel bewegende vrije elektronen botsen met de in de lucht aanwezige atomen. De atomen worden uit elkaar geslagen, waarna je ionen en elektronen overhoudt – een proces dat ionisatie heet. Het resultaat is een kolom plasma, die men in vaktermen de *leader* noemt.

“Die leader doet dienst om de elektrische krachten te bundelen”, legt Ebert uit. “Vergelijk het met een hamer en een spijker. Sla je met een hamer tegen een spijker, dan krijg je een gat omdat die spijker de mechanische krachten focuseert. Zo bundelt het kanaal de elektrische kracht.” Daardoor kan in de derde fase van bliksemvorming via dat kanaal de ‘kortsluiting’ plaatsvinden; de oorzaak van de zicht- en hoorbare bliksemschicht. Bij bliksem zie je dus in feite altijd de vorm van een leader.

Ballon

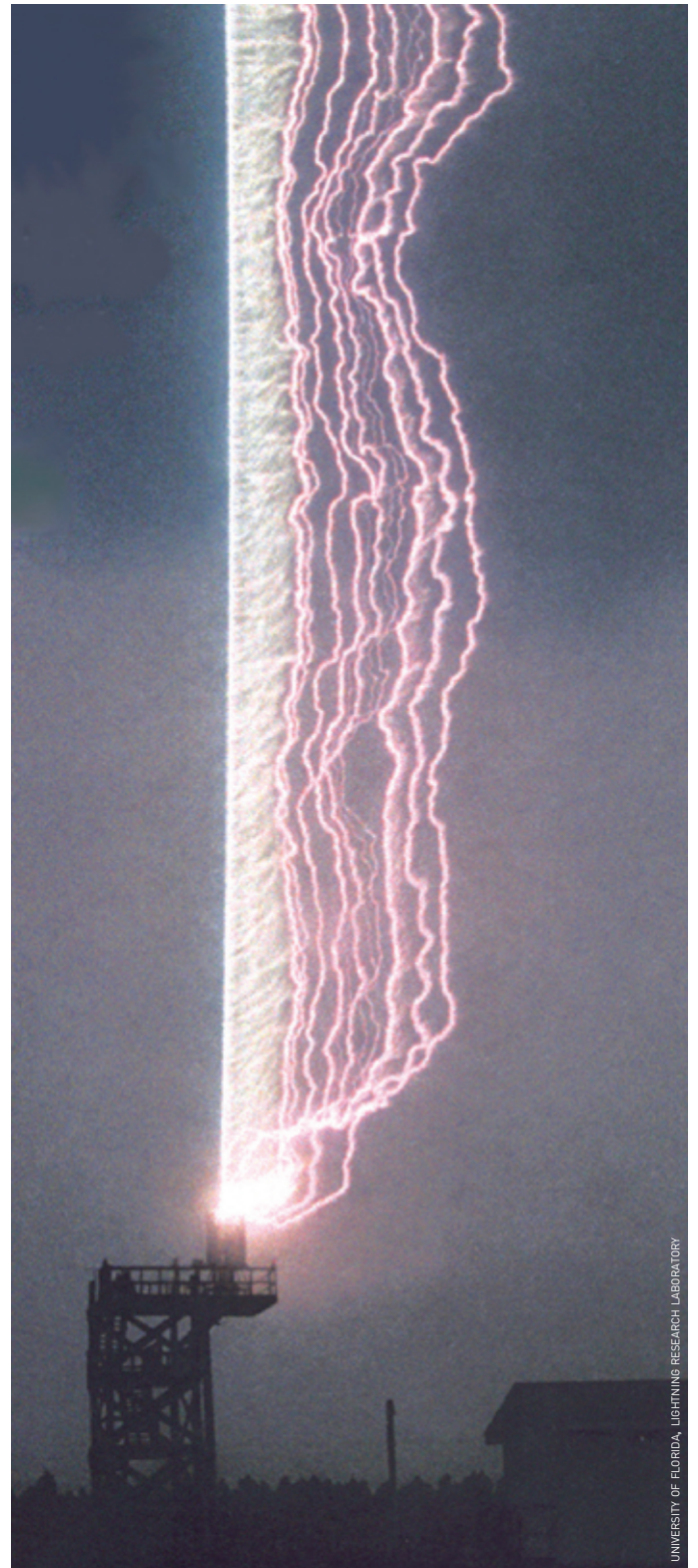
Wat niemand nog goed begrijpt, is hoe de lucht bij het vormen van het voorkanaal precies kan ioniseren. Elektronen moeten voldoende snelheid hebben om de atomen uit elkaar te kunnen slaan en die snelheid krijgen ze van het elektrisch veld in de wolk. Daarom start het kanaal ook altijd daar, want het veld is in de wolk groter dan daarbuiten. Maar na tientallen jaren van metingen met ballonnen, vliegtuigen en raketten blijkt dat de veldsterkte in de onweerswolk 150.000 volt per meter bedraagt. En dat is ruwweg tienmaal te klein voor ionisatie. Hoe kan dan toch bliksem ontstaan?

Bliksemfysicus Joseph Dwyer, verbonden aan het Florida Institute of Technology, ging op zoek naar een antwoord. Hij vond die in de ideeën van de Russische natuurkundige Alex Gurevich. De Rus presen-

Elke seconde scheren vijftig bliksemflitsen door de atmosfeer.

terde in 1992 het zogeheten proces van *runaway breakdown* door hoogenergetische elektronen. Het proces beschijft hoe elektronen extreme snelheden kunnen aannemen. Bij voldoende energie (en dus snelheid) neemt de wrijving op elektronen namelijk af met de snelheid, in plaats van toe, waardoor ze moeiteloos versnellen tot onvoorstelbaar grote snelheden. Als ze vervolgens botsen op andere deeltjes, krijgen die zo'n hoge snelheid dat een kettingreactie van hoogenergetische, versnellende en botsende elektronen optreedt. Het gevolg is ook hier ionisatie.

Zo'n energierijk elektron ontstaat echter niet zomaar. Net als bij 'gewone' ionisatie is een elektrisch veld nodig, maar *runaway breakdown* treedt pas op als het veld tienmaal sterker is. Zijn we dan niet verder van huis? Nee, want Dwyer ziet een oplossing buiten de aardse atmosfeer, bij kosmische deeltjes die met enorme snelheden onze atmosfeer komen binnenvallen. Eén kosmisch deeltje kan al voldoende zijn om de kettingreactie op gang te brengen. Mogelijke startdeeltjes zijn er in elk geval genoeg. In de tijd die nodig is om deze zin te lezen, zijn er al ongeveer honderd door je lichaam geschoten. ▶



• In Florida wordt bliksem opgewekt door een kleine raket te lanceren tijdens een onweersbui. De raket trekt een metalen kabel omhoog, die vrij baan maakt voor een bliksemschicht. Naast het lanceerplatform staat apparatuur om röntgenstraling te meten.

Wegen we de invloed van zo'n startdeeltje mee, dan blijkt het benodigde elektrische veld voor *runaway breakdown* – en dus bliksem – veel kleiner. Dwyer: "Bij de hoogte en luchtdichtheid van onweerswolken is 150.000 volt per meter al genoeg." En dat is precies de elektrische veldsterkte die daar wordt gemeten. "Dat kan geen toeval zijn", aldus Dwyer.

Toch is niet iedereen het met Dwyer eens. "Het idee dat het elektrisch veld in de wolk te klein zou zijn voor klassieke ionisatie is naïef", meent Ute Ebert. Ballonnen meten het elektrisch veld in een onweerswolk namelijk op een lengteschaal van een halve meter. Ebert: "Aan zo'n grove meting hebben we eigenlijk niets. Kleine water- of ijsdeeltjes in de

wolk kunnen een sterke oppervlaktelading hebben, sterk genoeg voor klassieke ionisatie. We hebben het dan over afstanden van millimeters of zelfs tientallen micrometers." Maar zulke ladingen direct waarnemen is vooralsnog een utopie. "Het is al vrij lastig om dat in een lab voor elkaar te krijgen, laat staan in een grote onweerswolk."

Dwyer schrijft op zijn website dat dit scenario weinig bevredigend is. "We vervangen het ene probleem met het andere: hoe krijg je grote elektrische velden in kleine volumes?" Bij navraag benadrukt Dwyer overigens dat hij het scenario van Ebert niet meteen naar de prullenmand verwijst. "Een variatie op dit proces zal uiteindelijk wel een rol kunnen spelen in

het starten van bliksem. Mijn belangrijkste punt is echter dat we sowieso nog veel werk te doen hebben, welke theorie we ook aanhangen. We begrijpen nog véél te weinig."

Daarom wil Dwyer het elektrisch veld in een wolk zo snel mogelijk in kaart brengen. Hij doet dat met behulp van *cosmic showers*, grote hoeveelheden kosmische deeltjes die met enige regelmaat onze atmosfeer komen binnenvallen. "Als zo'n *shower* door een onweerswolk beweegt, krijg je ineens zeer veel snelbewegende *runaway*-elektronen", legt Dwyer uit. Daardoor zal een grote ladingspuls ontstaan, net als wanneer elektronen door een kabel lopen. Die puls wekt op zijn beurt elektromagnetische golven op, door-

- Bliksemonderzoekers richten hun pijlen op de geheimzinnige sprites, immense vonken tussen wolken en de ionosfeer. De relatief eenvoudige sprites vormen mogelijk de sleutel tot een beter inzicht in 'echte' bliksem.



dat het een snelle variatie in het elektromagnetisch veld veroorzaakt. Die golven (in dit geval: radiogolven) kunnen Dwyer en zijn team met speciale antennes kilometers verderop meten. “De vorm en andere meetgegevens die in die radiogolven

ontwikkeling van de in het lab gemaakte vonk, wat erop duidt dat we moeten kijken naar het ontladingsproces zelf.”

Ook Dwyer benadrukt dat het ontstaan van röntgenstralen bij de leader en het vormen van de leader, twee geschei-

Eén kosmisch deeltje kan al voldoende zijn om de kettingreactie van bliksem op gang te brengen.

opgesloten liggen, kunnen we dan vrijwel direct terugrekenen naar het elektrische veld binnenin de wolk”, zegt Dwyer. “De detectieantenne moet nog iets verbeterd worden, maar ik verwacht binnenkort de eerste gegevens. Daarna moet nog ongeveer een jaar lang worden gemeten om bruikbare resultaten te krijgen.”

Gammaflitsen

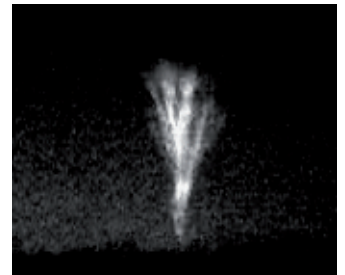
Een bewijs dat extreem snelle deeltjes op zijn minst een rol spelen bij bliksem, komt in de vorm van röntgenstralen. Bij deeltjes die met snelheden van ongeveer de lichtsnelheid bewegen en weer afremmen, komt altijd röntgen- en gammastraling vrij. Dwyer vertelt: “De röntgenstraling in de leader komt vrij in snelle uitbarstinkjes die een miljoenste van een seconde uit elkaar liggen. Als we röntgenvisie à la Superman zouden hebben, dan zou bliksem er dus uitzien als een snelle opeenvolging van heldere flitsen. Die straling heeft vrijwel zeker te maken met het proces van *runaway breakdown*.”

Ute Ebert denkt dat extreem snelle deeltjes inderdaad een rol spelen, maar dat ze versnellen onder invloed van de hoge elektrische velden rond de punt van de leaders (oftewel: de onderkant bij een naar beneden vorkend exemplaar). Daarnaast denkt ze nog altijd dat snelle kosmische deeltjes niet nodig zijn om het proces te starten. Bewijs daarvoor vindt ze in een nog niet gepubliceerd artikel van haar collega's Lex van Deursen en Vuong Nguyen, verbonden aan de Technische Universiteit Eindhoven. Zij toonden aan dat er – in het lab, althans – geen correlatie bestaat tussen kosmische straling en de gemeten gamma- en röntgenstraling. Nguyen: “We zien wel een correlatie tussen de straling en de

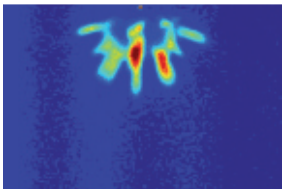
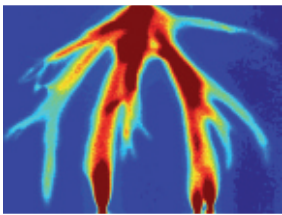
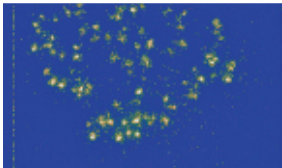
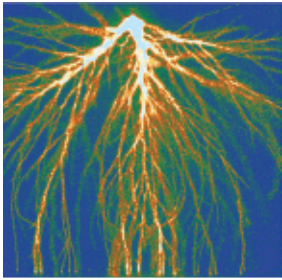
den vragen zijn. Dwyer: “Bij het antwoord op de eerste vraag denk ik – net als Ute – dat er inderdaad elektronen door de leader versneld worden tot relativistische snelheden. Maar dat geeft natuurlijk geen antwoord op de vraag hoe de *leaders* in eerste instantie gevormd zijn.” En daarover blijven ze het dus oneens.

Een ander belangrijk mysterie waar zowel Dwyer als Ebert op wijzen, zijn de zogenaamde gammaflitsen: spontane erupties van hoogenergetische straling die men tot voor kort slechts kende vanuit exotische processen in het heelal. Op aarde werd de eerste flits pas ontdekt in 1994. Het was een toevallige, volstrekt onverwachte waarneming door Nasa-wetenschapper Gerald Fishman, die met behulp van een satelliet eigenlijk op zoek was naar gammaflitsen in de ruimte. Toch duurde het nog tot 2006 voordat bekend werd dat deze flitsen allesbehalve zeldzaam zijn. Met satellietwaarnemingen ontdekte men dat gammaflitsen minimaal zo'n vijftigmaal per dag bij onweersbuien voorkomen. En hoewel er veel meer dan vijftig onweersbuien per dag zijn, kon men het verschijnsel niet langer negeren.

Dwyer schrijft op zijn website over de eerste keer dat zijn team zelf zo'n gammaflits waarnam: “Iedereen die zich voorstelt dat wetenschappers kalm en gereserveerd zijn, had moeten zien hoe we reageerden toen we voor het eerst die gammaflits zagen. In plaats van te staren naar gegevens op een computer, leek het alsof we zojuist ons favoriete team de winnende touchdown hadden zien scoren in de Super Bowl!” Reden voor enthousiasme was er genoeg. Het was de eerste gammaflits-waarneming vanaf de aarde, wat de deur opent naar gemakke- ▶



• Jets, bliksemschichten die vanaf de bovenkant van een wolk omhoog schieten tot een hoogte van 90 kilometer, zijn het toonbeeld van de elektriciteitsoverdracht tussen wolken en de hoogste lagen van de aardatmosfeer. Afgelopen augustus werd duidelijk dat jets even krachtige elektrische ontladingen teweeg kunnen brengen als 'gewone' bliksem.



Streamerontlading

In het laboratorium nagebootste streamers van een bliksemontlading. De stroom loopt vanaf een scherpe punt bovenaan naar een horizontale metalen plaat, vier centimeter lager. Uit het verschil tussen de bovenste en onderste plaatjes blijkt, dat verdubbelen van de spanning (van 28.000 naar 54.000 volt) de streamers veel meer dan twee keer zo dik maakt.

Vergelijking van de plaatjes leert dat een streamer eigenlijk bestaat uit een gloeiende punt die zich met enorme snelheid (100.000 tot 10.000.000 m/s) voorbeweegt. De foto's links, met een relatief lange sluitertijd van 300 nanoseconde, laten dus het hele traject van zulke gloeiende punten zien.

lijker en goedkoper onderzoek naar het verschijnsel. Volgens Dwyer zijn de flitsen vooral belangrijk vanwege de implicatie dat *runaway breakdown* ook hoog in de wolk plaatsvindt. Want net als röntgenstraling komt ook gammastraling vrij, en dus zal de oorzaak voor de twee stralingstypen niet veel van elkaar verschillen.

Ebert hoorde op een conferentie voor het eerst van het verschijnsel. "De spreker – David Smith – vertelde dat de flit-

Overigens zijn sprites niet de enige ontla- dingen boven de wolk waar op dit mo- ment actief onderzoek naar gebeurt. Ook zogenaamde jets – negatieve ontla- dingen tussen de onweersbui en de ionosfeer waarbij wél leaders ontstaan – vormen steeds vaker het onderwerp van weten- schappelijke publicaties. Daaruit blijkt onder andere dat in de grootste jets onge- veer evenveel energie vrijkomt als bij 'ge- wone' bliksem en dat de twee verschijnse- len vermoedelijk onafhankelijk van elkaar

“Het bliksemonderzoek is een klein wereldje met grote openliggende vragen.”

sen enkele minuten plaatsvonden voordat de meetbare ontla- dingen in de wolk be- gonnen”, vertelt Ebert enthousiast. Daar- mee is de grote vraag volgens haar waar- om daar nog zoveel tijd tussen zit. “Het zou bijvoorbeeld kunnen komen door een nog niet waargenomen ontla- dingsproces, een soort voorontlading”, denkt ze. Het is hoe dan ook belangrijk de komende jaren meer over de flitsen te weten te komen. Ebert: “Er wordt een missie met het in- ternationale ruimtestation ISS voorbereid om gammastraling te onderzoeken. Daar- van zullen we zeker meer leren.”

Sprites

Op dit moment probeert Ebert bliksem vooral beter te begrijpen door zogenaamde *sprites* te bestuderen: een vonk die niet – zoals de ons vertrouwde bliksem – onder de wolk zichtbaar is, maar juist erboven, tussen de ionosfeer en de wolk. “Die spi- rtes zijn eenvoudiger te begrijpen dan ge- wone bliksem”, vertelt Ebert. Dat komt omdat sprite-ontla- dingen ontstaan uit zo- geheten *streamers*, een kleinere versie van de leaders. “Streamers zijn zwak geïo- niseerd en nog niet heet”, legt Ebert uit. “Ze kunnen tot ongeveer één meter lang worden.” Bij gewone bliksemontlading bundelen die *streamers* zich tot een lea- der, waarna over die leader de kortsluiting kan plaatsvinden. Maar bij sprites gaat dat anders. Ebert: “Er is geen samenbun- deling en geen kortsluiting. Als we sprites beter begrijpen, wordt het waarschijnlijk eenvoudiger om het veel taaiere probleem van de min of meer gewone bliksem aan te pakken.”

vanuit dezelfde onweerswolk kunnen ont- staan. En tot slot geldt natuurlijk ook bij deze jets dat wetenschappers nog altijd niet precies begrijpen hoe ze ontstaan.

Ebert benadrukt dat het begrijpen van bliksem geen eenvoudige opgave is. “We combineren verschillende vakgebieden en werken over verschillende lengtescha- len; van micrometers tot kilometers. En dat moet uiteindelijk allemaal samen in één model passen.” Het heeft tot gevolg dat het bliksemonderzoek een klein we- reldje is met grote openliggende vragen. “De aanwezigheid van gammaf- litsen laat zien dat er nog iets ontbreekt aan onze modellen”, aldus Ebert. Boven- dien zijn de relatief eenvoudige sprite- ontla- dingen nog niet volledig begrepen, is er nog geen sluitend model voor de jets, weet niemand hoe de lading zich in een wolk nu precies opbouwt en heersen er nog altijd tegenstrijdige opvattingen over hoe leaders ontstaan.

En dan is er natuurlijk nog altijd het ri- sico van grote, nieuwe ontdekkingen die het huidig begrip compleet overhoop gooien. Eén zo'n grote ontdekking ligt volgens Ebert zelfs al op de loer, al weet ze nog niet goed wat ze ervan moet den- ken. “Volgens onze huidige tekstboeken zijn er altijd maar één of enkele leaders bij een bliksemontlading betrokken. Toch zien meerdere mensen nu aanwij- zingen dat er hele groepen leaders naar beneden propageren. Maar die waarne- mingen zijn nog niet goed beschreven en nog niet gepubliceerd.” Lachend voegt ze eraan toe: “Het zou de boel in elk geval weer flink op z'n kop zetten!” ●