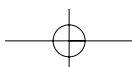


**Blikseminleider** Een raket met een koperen draad eraan, gelanceerd naar een overdrijvende onweerswolk, provoceert een blikseminslag in het lanceerplatform. Zo kan het verschijnsel van nabij bestudeerd worden.

Universiteit van Florida



# Kortsluiting tussen heelal en aarde

Vijftig keer per seconde slaat op aarde de bliksem in, dag in dag uit. Toch is het verschijnsel nog verre van opgehelderd. Recent is gebleken dat bliksems röntgen- en gamma-straling uitzenden, en misschien worden ze getriggerd door kosmische straling. *Bruno van Wayenburg*

Bliksem is kortsluiting tussen wolken en de aarde. Normaliter is lucht een goede elektrische isolator, waar geen stroom doorheen kan lopen. Een bliksemschicht is een centimeterdik kanaal van geïoniseerde lucht waarin gedurende een fractie van een seconde een spanningsverschil van tien tot honderd miljoen volt overbrugd wordt. De temperatuur in het bliksemkanaal loopt op tot 30.000 graden, en de plotselinge uitzetting van de lucht is in de wijde omtrek te horen als de donder. De gevolgen van bliksem zijn aanzienlijk: wereldwijd jaarlijks miljarden euro's schade en honderden doden en gewonden.

Toch is bliksemonderzoek maar een kleine discipline, van vooral Amerikaanse en Russische onderzoekers, waarvan een deel begin mei op een symposium in Leiden de laatste resultaten uitwisselde. Zo bleek dat bliksemschichten ruime hoeveelheden hoogenergetische röntgen- en zelfs gammastraling produceren. Röntgenstraling treedt niet op bij gewone vonken, en de nog energierijker gammastraling kan volgens de gangbare theorieën alleen ontstaan bij kernreacties en extreme processen in het heelal, bijvoorbeeld rond neutronensterren of zwarte gaten.

Ook lijkt kosmische straling – het continue bombardement van snelle elementaire deeltjes uit het heelal – een rol te spelen als aanstichter van bliksemflitsen. Verrassend is ook de connectie met de mysterieuze flitsen van gammastraling die satellieten in de jaren negentig voor het eerst waarnamen in de atmosfeer.

Bliksem blijkt niet de uitvergroting van de vonk in bougie of gasfornuis-aansteker waar het lange tijd voor is aangezien, maar een complex, slecht begrepen verschijnsel. “Er zijn echt nog enorm veel open vragen”, zegt Robert Roussel-Dupré, een vooraanstaand bliksemonderzoeker aan het Los Alamos National Laboratory in het Amerikaanse New Mexico.

**Ladingscheiding** Een paar basisfeiten zijn onbetwist. “Onweerswolken ontstaan als vochtige, warme en dus lichtere lucht opstijgt”, zegt Iwan Hollemans, onderzoeker bij het KNMI. In zomerse onweersbuien gaat het vaak om convec-tie: de lucht is door de zon opgewarmd. In de winter en herfst willen koudefronten – brede massa's koude lucht – nog wel eens onder de warme lucht schuiven en die optillen.

De stijgende lucht koelt af, en het vocht vormt kleine waterdruppeltjes, die samen wolken vormen. Nog iets hoger op bevroren de waterdruppeltjes tot ijskristallen, die samenklonteren en veelvuldig met elkaar botsen. In deze zogenaamde ‘gemengde zone’ treedt een elektrische ladingscheiding op.

Het is niet helemaal duidelijk hoe dat precies in zijn werk gaat (sommige onweerswolken bliksemen al tien minuten na hun ontstaan), maar experimenten suggereren dat grote, onregelmatig gevormde ijskristallen tijdens botsingen een overschot aan (negatieve) elektronen overhouden, terwijl kleine, regelmatige ijskristallen juist elektronen

kwijtraken en dus positief geladen raken. De kleine kristallen stijgen gemakkelijker in de luchtstroom dan de zwaardere, zodat er in de wolk een ladingscheiding optreedt: de positieve lading komt bovenin de wolk terecht, de negatieve lading onderin. Doordat tegengestelde ladingen elkaar aantrekken, verzamelt de onderkant van de onweerswolk in het daaronder gelegen aardoppervlak positieve lading uit de rest van de aarde.

Als het spanningsverschil tussen het aardoppervlak en de wolk daarboven is opgelopen tot enige miljoenen volt, kan een bliksemontlading volgen.

De eerste stap is de ‘voorontlading’, waarin elektrische lading zich met een snelheid van 1500 meter per seconde een weg baant door de isolerende lucht, stootsgewijs en in korte rechte segmenten. Zo vormt zich een vertakt, centimeterdik kanaal van geïoniseerde lucht: geladen zuurstof- en stikstofmoleculen die stroom kunnen geleiden.

Zodra één of meer van de uitlopers van dit kanaal contact maken met de grond (of een wolk met tegenovergestelde lading) komt de ‘hoofdontlading’ of ‘terugslag’ op gang. Met een snelheid van bijna de lichtsnelheid ontlaaft het spanningsverschil zich door het gebaande pad. De stroom kan oplopen tot honderdduizenden ampères. Meestal wordt het gebaande kanaal nog enkele malen gevolgd door een nieuwe, dit maal niet vertakte, voorontlading en weer een hoofdontlading, wat het flikkeren van de bliksem veroorzaakt.

Het eerste raadsel in dit plaatje is om te beginnen al hoe de lucht door kan slaan. De drempelveldsterkte voor een gewone vonk in lucht is drie miljoen volt per meter. Maar uit metingen vanuit ballonnen en vliegtuigen is gebleken dat elektrische velden in onweerswolken niet boven de 150.000 volt per meter uitkomen.

Nog een probleem is dat bliksemontladingen niet alleen gebieden doorkruisen waar het veld hoog is. Sommige blikseminslagen vinden letterlijk bij heldere hemel plaats omdat de bliksem zich over kilometers horizontaal kan voortplanten. Ook de schoksgewijze voortplanting van de voorontlading is moeilijk te verklaren.

Al in de jaren twintig bedacht de Schotse natuurkundige C.T.R. Wilson een ander soort ontleding, *runaway breakdown*, waarin losse elektronen zo snel door de lucht bewegen dat ze minder wrijving ondergaan. In gewone ontledingen worden elektronen afgeremd door botsingen met luchtmoleculen, die hierdoor in trilling of in rotatie gebracht worden. Alleen een zeer hoog elektrisch veld kan de elektronen hier doorheen blijven slepen.

Als echter de snelheid van de elektronen hoog genoeg is (zo'n 6000 kilometer per seconde) kunnen ze hun

energie niet meer kwijtraken door dit soort trillingen en rotaties in luchtmoleculen aan te slaan. De wrijving neemt daardoor drastisch af, zodat de ontleding in stand kan blijven bij een veel lager veld. Wel is er voor zo'n ontleding met 'wegrennende elektronen' een beginpopulatie van supersnelle elektronen nodig.

Wilson dacht aan kosmische straling of radioactieve processen in de atmosfeer om in deze beginpopulatie te voorzien, maar zijn berekeningen wezen uit dat deze processen te weinig beginlektronen opleveren.

In 1992 kwamen Roussel-Dupré, Alex Goerjevitsj van het Lebedev Instituut voor Natuurkunde in Moskou en Gennady Milich van de universiteit van Maryland met een nieuw idee: runaway-elektronen zouden ook nieuwe elektronen los kunnen slaan van de gasmoleculen waar ze mee botsen, en zo zorgen voor een lawine van elektronen. "Het lijkt nu heel simpel, maar niemand had er eerder aan gedacht", zegt Roussel-Dupré. Berekeningen wezen uit dat de in onweerswolken waargenomen 150.000 volt per meter dan wel voldoende zou zijn voor een elektronen-lawine.

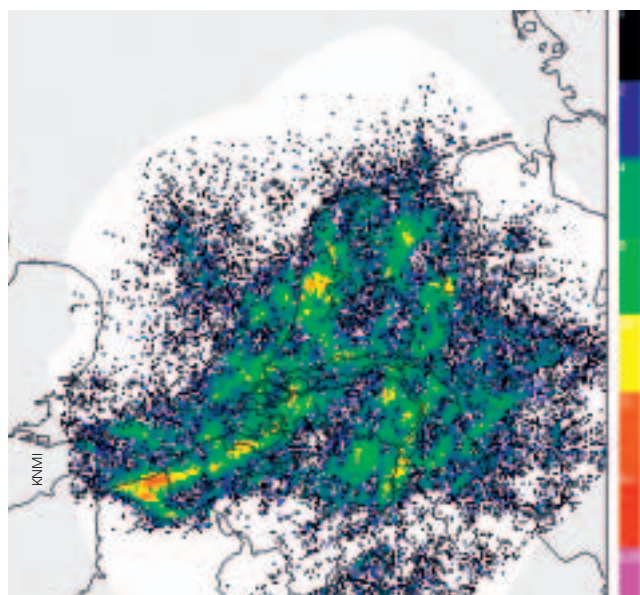
Door het lawine-effect is er bovendien maar een heel kleine beginpopu-

latie van extreem snelle elektronen nodig om de ontleding af te laten gaan, misschien zelfs maar één. Dat geeft nieuwe steun aan Wilson's hypothese dat bliksem getriggerd wordt door kosmische straling.

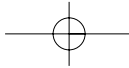
"Het mechanisme is heel moeilijk te testen in een laboratorium, omdat je grote elektrische velden moet aanleggen over tientallen of honderden meters", zegt Roussel-Dupré, maar metingen lieten zien dat het verschijnsel vermoedelijk optreedt in echte blikseminslagen.

**Provocatie** Op 20 juli 2002 pakten donkere wolken zich samen boven Camp Blanding in het Amerikaanse Florida, één van de meest bliksemrijke streken op aarde. Ideaal voor het experiment dat de onderzoeksgroepen van Joseph Dwyer van de Florida Institute of Technology en Martin Uman van de University of Florida op stapel hadden staan.

Van een bescheiden lanceerplatform lanceerden de onderzoekers een kleine raket, die een met kevlar versterkte koperdraad omhoog trok, loodrecht de op 700 meter hoogte hangende onweerswolk in. De provocatie had onmiddellijk effect: via de draad trof een blikseminslag het lanceerplatform.



**Trefkans** Nederland wordt jaarlijks door honderduizenden bliksems getroffen. De plaats van inslag kan worden vastgesteld door het bijbehorende radiosignaal uit te peilen. De kleurcode geeft het aantal inslagen per vierkante kilometer.



### Bliksem: zin en onzin

De Griekse Zeus, Thor bij de Vikingen, en ook de God van de bijbel, allemaal hebben ze volgens de overlevering bliksemschichten onder handbereik. Bliksem leent zich bij uitstek voor verwerking in mythes en broodje-aapverhalen, ook nu nog.

#### Onjuist: in een auto zit je veilig voor bliksem vanwege de isolerende rubber banden.

Een gesloten auto is wel veilig, maar wegens de metalen kooiconstructie die de stroom om de inzittenden heen geleidt. Dat inzittenden bij uitstappen alsnog geëlektrocuteerd worden omdat de auto de elektrische lading vasthoudt, is onzin, net als het fabeltje dat een door de bliksem getroffenene nog geladen is.

#### Waar: Bellen tijdens een onweersbui kan gevaarlijk zijn.

Door veranderende elektrische velden kunnen zich tijdens blikseminslagen in grote metaalconstructies en lange leidingen hoge spanningen opbouwen. Mobieltjes zijn wel veilig.

#### Onzin: blikseminslag kan mensen tot een hoopje as reduceren.

Tachtig procent van de getroffenenen overleeft, en slachtoffers hebben zelden ernstige brandwonden. Wel hebben ze nadien vaak zware lichamelijke en mentale klachten, zoals concentratie- en geheugenstoornissen, die soms blijvend zijn.

#### Waar: je moet tijdens onweer nooit onder een boom gaan staan.

De boom fungeert weliswaar als bliksemafleider, maar de inslag kan overspringen op iemand die er naast staat. Ook kan de boomstam door de plotselinge hitteontwikkeling van de inslag ontploffen.

In Nederland worden jaarlijks zo'n vijf mensen door de bliksem getroffen, waarvan er gemiddeld één overlijdt.

Na de meetcampagne bleek dat 31 van de 37 uitgelokte inslagen röntgenstraling hadden afgegeven, sommige zoveel dat de meters tijdelijk verblind werden. "Röntgenstralen zijn een onmiskenbaar teken van *runaway electrons*", zegt Roussel-Dupré. Als snelle elektronen door lucht-moleculen afgebogen worden zenden ze karakteristieke *bremsstrahlung* uit in het röntgen- of gammafrequentiegebied.

Naar deze bremsstrahlung waren onderzoekers sinds Wilson op zoek geweest, met wisselende resultaten. Röntgen- en gammastraling worden binnen honderden meters geabsorbeerd door de atmosfeer, en gewoon wachten totdat binnen die afstand van je vaste meetopstelling spontaan de bliksem inslaat kan jaren duren. Bovendien kan de intense radiostraling die vrijkomt bij een bliksemontlading elektronische meetapparatuur behoorlijk storen.

In 2001 met Charlie Moore van het New Mexico Institute of Mining and Technology gepulste röntgenstraling uit de voorontlading van een blikseminslag in de bergen. "Dat was een doorbraak. De pulsen geven aan dat het niet om een achtergrond-effect ging, maar dat de straling direct afkomstig is van de discrete stappen in de voorontlading", zegt Roussel-Dupré. Dwyers resultaten maakten duidelijk dat Moore's ene meting geen toeval of storing was geweest. De raketmethode maakte de metingen reproduceerbaar.

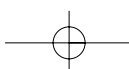
Toch is hiermee niet het laatste woord gezegd. Hoewel runaway-elektronen aangetoond zijn, is nog onduidelijk hoe het proces in de voorontlading steeds weer opnieuw begint. "Je zou verwachten dat de runaway breakdown uitdooft als hij buiten het oorspronkelijke hoge elektrische veld komt", zegt Rous-

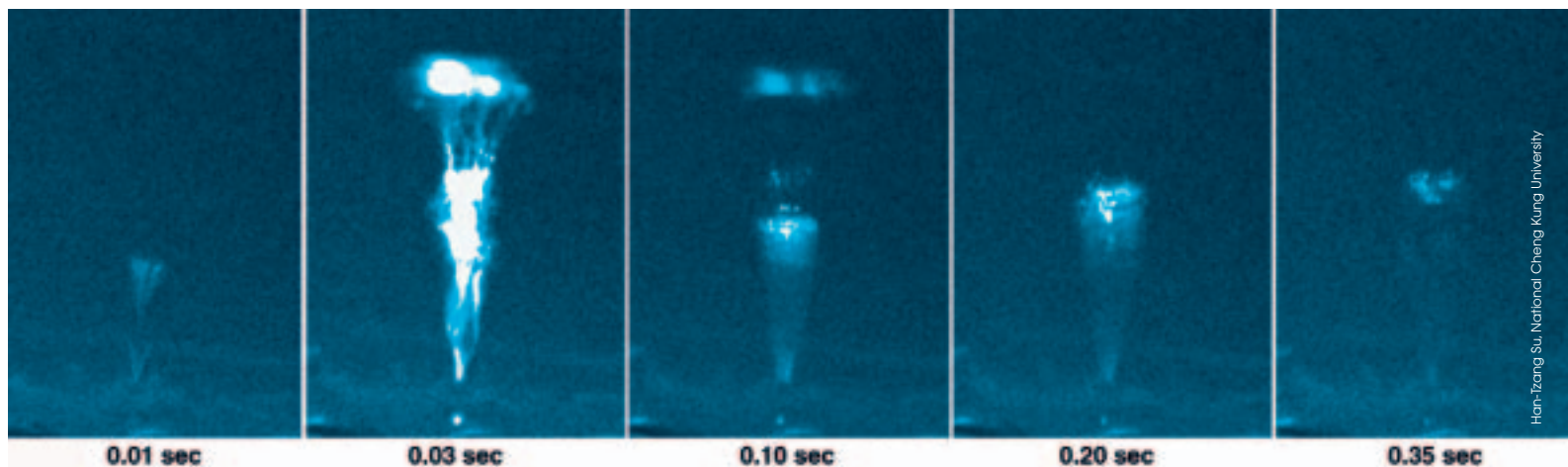
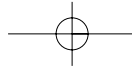
sel-Dupré. Na nog één segment zou de voorontlading het voor gezien houden.

Mogelijk creëert de getransporteerde lading aan de spits van de voorontlading zijn eigen vergrote elektrische veld, dat naburige los rondzwevende elektronen versnelt tot een nieuwe runaway breakdown.

Recent opperden Roussel-Dupré en collaga's als exotischer mogelijkheid een terugkoppelingsmechanisme waarin de uitgezonden gammastraling een elektron en zijn antideeltje, een positron, creëert. Het positief geladen positron volgt het kanaal in omgekeerde richting, om bovenin nog meer runaway elektronen los te slaan. "Zo'n terugkoppeling zou misschien tot pulsen kunnen leiden, maar dit is echt nog maar een idee", zegt Roussel-Dupré voorzichtig.

Daarnaast werpt het runaway-model nieuw licht op de mogelijkheid





Han-Zhang Su, National Cheng Kung University

**Opwaartse bliksem** Enorme jets schieten in minder dan een seconde van de bovenkant van een onweerswolk naar de ionosfeer op tachtig kilometer hoogte.

dat kosmische stralen bliksem doen afgaan. Als één supersnel elektron al genoeg kan zijn voor een lawine, kan één kosmisch deeltje dus ook voldoende zijn. De vraag is hoe snel dat kosmische deeltje daarvoor moet zijn, en of er daarvan genoeg binnenkomen om de aardse bliksemactiviteit te verklaren. Zowel Dwyer in Florida als Goerjevich in Kazachstan werken aan batterijen meetstations die zowel kosmische straling als röntgenstraling van blikseminslagen kunnen detecteren.

**Dierentuin** Om de zaken nog verder te compliceren bleek dat er nog een ander type runaway breakdown gaande lijkt te zijn in de atmosfeer. In 1991 werd het Amerikaanse Compton Gamma-Ray Observatory gelanceerd, een satelliet die moest speuren naar mysterieuze uitbarstingen van gammastraling uit het heelal.

Maar al bij de tweede uitbarsting leek er iets vreemds aan de hand. De meetgegevens van het instrument BATSE (Burst and Transient Source Experiment) gaven aan dat de straling afkomstig was van de achterkant van de satelliet, ofwel uit de aardatmosfeer. “We dachten dat er iets heel erg mis was”, zei Robert Mallozi van het BATSE-team later. Bezorgd controleerden de onderzoekers of BATSE wel goed aangesloten was, maar alles leek te kloppen: ook de aarde produceerde gamma-uitbarstingen.

In zijn werkzame leven tot 2000 mat BATSE zo’n zeventig van deze ‘aardse gammaflitsen’ (*terrestrial gamma ray flashes*, TGFs), die samen leken te hangen met heftige stormen op aarde. De onderzoekers vermoedden een samenhang met zeer krachtige bliksemontladingen waarbij positieve elektri-

sche lading naar beneden stroomt. Volgens hun model zouden de daardoor optredende veranderingen in het elektrisch veld op 30 tot 50 kilometer hoogte voor een runaway breakdown zorgen. De naar boven stromende elektronen zouden door bremsstrahlung de TGFs produceren.

Het verband leek des te interessanter, omdat *sprites*, een mysterieus soort lichtflitsen hoog in de atmosfeer, ook vaak samen gaan met positieve bliksem. Sprites, vaak gezien door piloten maar pas in 1989 op foto vastgelegd, zijn de bekendste representant van een hele dieren-tuin aan hoog-atmosferische lichtverschijnselen met namen als *elves*, *trolls*, *pixies* en *blue jets*, die sindsdien ontdekt zijn.

Een mogelijkheid om het verband verder te onderzoeken kwam in 2002 met de lancering van de satelliet RHESSI (*Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager*), eigenlijk bedoeld voor metingen aan uitbarstingen op de zon. De gevoeligere gammadetector van RHESSI mat zo’n 15 tot 20 TGFs per maand.

Simultane gegevens over bliksemontladingen zijn af te leiden uit laagfrequente radiosignalen. “Bliksem produceert sterke radio-storingen. Je kunt het ook horen op je middengolfradio”, zegt Holleman van het KNMI, die metingen doet aan bliksem in Nederland en België met het antennenetwerk SAFIR. Steven Cummer van Duke University in North Carolina legde vergelijkbare radiogegevens naast RHESSI-data over 26 TGFs. Dertien daarvan bleken duidelijk geassocieerd met radiosignalen van bliksemontladingen, zo meldden Cummer en collega’s in april in het vakblad *Geophysical Research Letters*. Klein pro-

bleem: de gemeten bliksemflitsen bleken 50 tot 500 keer te zwak om volgens de theorie tot runaway breakdown op 30 tot 50 kilometer hoogte te leiden. De actie moest zich wel lager afspelen, dicht bij de onweerswolk op maximaal tien kilometer hoogte. Dwyers eenmalige waarneming op de grond van een uitbarsting van intense gammastraling uit een onweerswolk lijkt hiermee te kloppen.

Een connectie met de veel hogere sprites was dus uitgesloten, ook al omdat dat niet klopte met het type radiosignalen en de locaties van de bliksems. “Misschien is er een connectie met blue jets, die beginnen wel vlak boven de wolk”, oppert Roussel-Dupré.

Nog raadselachtiger was Cummer’s observatie dat de gemeten TGFs gemiddeld 1,24 en maximaal 3 milliseconden vooraf gingen aan de bliksem. De bliksem kon de TGF dus niet veroorzaken hebben.

Met andere woorden: ‘iets’ in of net boven de onweerswolk veroorzaakt zowel de bliksemschicht als de TGF, de laatste net even eerder dan de eerste. Wát dat iets is, is niet duidelijk. Wel is duidelijk dat het verhaal van de bliksem weer eens wat gecompliceerder ligt dan verwacht. “Eigenlijk”, zegt Roussel-Dupré, “begrijpen we nog niet veel van bliksem.” ■

#### Informatie

Bliksemsymposium Lorentzcenter in Leiden  
[www.lc.leidenuniv.nl/lc/web/2005/20050509/info.php3?wsid=155](http://www.lc.leidenuniv.nl/lc/web/2005/20050509/info.php3?wsid=155)

Zie ook: ‘Bliksem boven de wolken’,  
 NW&T september 2003.

