

Het hemelvuur geeft bijna zijn geheimen prijs

Onweer

Het dondert en bliksemt alle dagen, en toch schuilen er voor de wetenschap nog raadsels in de onweerswolk. En meer nog in de gloeiende fonteinen, ringen en schotels hoog in de atmosfeer.

tekst Jans Henke

Bliksem is iets alledaags. Wereldwijd zijn er tientallen bliksemslagen per seconde, zo'n negen miljoen per dag. Je zou denken dat we zo'n veelvoorkomend fenomeen ook helemaal begrijpen. Maar het is voor de wetenschap nog een raadsel hoe een bliksemschicht ontstaat. Een raadsel dat wordt opgehelderd met slimme computersimulaties en nauwkeurige metingen. En Nederland is sinds kort voorloper in dit bliksemonderzoek.

We weten al sinds de achttiende eeuw, dankzij experimenten van de Amerikaanse wetenschapper en staatsman Benjamin Franklin en zijn tijdgenoten, dat bliksem een elektrische fenomeen is. De sterk wervende luchtstromen binnen onweerswolken zorgen ervoor dat ijsdeeltjes en hagelstenen in de wolk op elkaar botsen en daarbij een elektrische lading krijgen. De positieve en negatieve ladingen verzamelen zich in verschillende delen van de wolk, en genereren daarbij een elektrisch veld. Kort gezegd laden onweerswolken en de grond eronder op als gigantische batterijen, en is bliksem hier een kortsluiting van.

Simpel genoeg, zou je denken. Maar zo'n ontlading ontstaat niet zomaar. De lucht is een elektrische isolator, en een ontlading heeft eerst een geleidend pad nodig waar elektrisch geladen deeltjes langs kunnen bewegen. Dit pad begint met zogenoemde streamers die bestaan uit elektrisch geladen luchtdeeltjes en losgerukte elektronen. Streamers komen met honderdduizenden tegelijk, als uit een sproeikop. Een individuele streamer komt niet ver, maar zijn er genoeg streamers, dan warmt de lucht op en kan er een hete, gloeiende leader ontstaan. Zo'n leader springt in grote stappen naar twee kanten, een positieve en een negatieve, vaak met meerdere vertakkingen.

Een leader kun je zien in slow motion-video's van bliksem, maar ze bewegen zo snel dat ze met het blote oog moeilijk te zien zijn. Wat we zien zijn de gigantische stroomstoten die ontstaan wanneer twee leaders van tegenovergestelde elektrische polarisatie elkaar tegenkomen en de elektrische verbinding compleet maken. Het bliksemkanaal wordt hierbij razendsnel witheet, tot wel zes keer heter dan de oppervlakte van de zon, met als resultaat het felste licht en hardste geluid (de donder) van alle natuurlijke fenomenen op aarde.

Het is vooral het begin van dit proces waar wetenschappers nog mee worstelen. "De eerste stap is een van de grootste raadsels in de bliksemwetenschap", vertelt dr. Brian Hare, bliksemonderzoeker aan de Rijksuniversiteit Groningen. Het is een raadsel omdat het elektrische veld in een onweerswolk te zwak lijkt. "Als we een weerballon laten opstijgen om het elektrisch veld in een onweerswolk te meten, blijkt dat te zwak om een bliksemschicht op gang te brengen. Een factor tien te zwak! Hoe krijgen we dan die kilometerslange schichten?"

Het vermoeden is nu dat de veldsterkte die nodig is in een onweerswolk wel wordt bereikt, maar op heel kleine schaal, te klein om door een weerballon te worden waargenomen. De veldsterkte die nodig is om het pad naar een bliksemschicht te beginnen kan worden bereikt vlak bij ijs- en waterdeeltjes. Deze deeltjes, ook wel hydrometoren genoemd, kunnen elektrische velden namelijk lokaal versterken, vooral wanneer ze een langwerpige of puntige vorm hebben. Bliksemafleiders zijn om dezelfde reden puntig; zo trekken ze bliksem aan, en weg van de gebouwen die ze beschermen.

De elektrische ontlading bij een bliksemschicht begint met een streamer

Maar is dit genoeg? "Nee", zegt hoogleraar Ute Ebert, "Behalve een versterking van het elektrisch veld heb je ook vrije elektronen nodig." Ebert is onderzoeksleider aan het Centrum Wiskunde & Informatica in Amsterdam en expert in computersimulaties van bliksem. Vrije elektronen zijn elektronen die niet vastzitten aan een atoom of molecuul, en daardoor makkelijk met een elektrisch veld mee kunnen bewegen. "Waar haal je die vrije elektronen vandaan?", zegt Ebert. "We weten dat een onweerswolk maar heel weinig vrije elektronen heeft. Hilarisch genoeg betekent dit dat een onweerswolk minder geleidend is dan lucht buiten het onweer", voegt Brian Hare toe.

Kosmische straling

Een mogelijke bron van vrije elektronen is kosmische straling, bestaand uit hoogenergetische deeltjes die van buiten de dampkring komen. Botsingen tussen zo'n kosmisch deeltje en luchtmoleculen veroorzaken een soort lawine van vrije elektronen. Maar of kosmische straling per se nodig is om bliksem te genereren, daar zijn wetenschappers nog niet over uit. "Algemeen geaccepteerd is het niet", zegt Ebert. "Maar het is niet altijd duidelijk waar de betrokken wetenschappers het precies over hebben. Hebben ze het over de allereerste ontlading in een onweerswolk of over latere bliksemschichten die mogelijk door de eerste ontlading in gang zijn gezet? Wij hebben vooral gekeken naar de eerste centimeters van het pad, vlak bij zo'n ijsdeeltje. Anderen kijken meer van: hoe krijg ik iets van een lengte van een meter, of tientallen meters. Mensen praten dan steeds weer over *lightning inception*, maar ze praten eigenlijk over andere processen."

Maar de oplossing is in zicht, zegt Ebert. "Het mooie is dat wij met onze simulaties net aan de lengteschaal van een meter ontlading komen. Brian Hare komt met zijn metingen nu ook tot die schaal. We krijgen voor het eerst een mooie overlap tussen zijn metingen en onze simulaties." De metingen waarover ze het heeft, komen van Lofar, een Nederlandse radiotelescoop die wereldtop is. Hoewel de radiotelescoop is gebouwd om naar het heelal te turen, beseften Olaf Scholten en Brian Hare van de Groningse

'Een onweerswolk is minder geleidend dan lucht buiten het onweer'

universiteit dat Lofar ook bliksem kan volgen, met extreme precisie en ook binnen een wolk. De hete, versnelde elektronen in een leader zenden namelijk pulsen van radiogolven uit. Door veel radioantennes over een groot gebied te verspreiden, wat Lofar doet, kan achterhaald worden vanuit welke locatie in de wolk iedere radiopuls vandaan komt. "Dankzij Lofar zijn we nu verreweg de beste groep ter wereld in het afbeelden van bliksem in drie dimensies", aldus Brian Hare.

Onlangs is het gelukt om in de data van Lofar het ontstaan van een bliksemkanaal nauwkeurig te volgen. Het gaat hier om een eerste groep streamers, die binnen microseconden verhonderdvoudigen en daarna een heet bliksemkanaal vormen. "Een belangrijk punt hier is dat de bliksem echt vanaf één specifieke plek begint. Dat wisten we niet", aldus Hare. "Dit is ongeveer precies wat je zou verwachten van een hydrometeor-initiatie. Maar we moeten nog uitzoeken hoe we deze data kunnen gebruiken om te bevestigen dat het echt zo werkt."

Natuurlijk zijn er nog talloze open vragen. Hare: "Zelfs als we weten dat bliksem begint door veldversterking van hydrometoren, wat is dan precies de microfysica? Hoe werken de streamers samen, hoe groeien ze, enzovoort. We boeken dus snel vooruitgang, maar er moet nog veel wetenschappelijk onderzoek worden gedaan." Ebert: "Er zijn nog geen goede modellen voor hoe leaders en streamers aan elkaar gekoppeld zijn. We moeten nog beter begrijpen hoe meerdere streamers tegelijk voortbewegen, wat ze achterlaten, en wanneer een streamer overgaat in een leader. Dat is allemaal werk in uitvoering."

Lichtflitsen boven de wolken

Wij zien bliksem tussen wolken en tussen wolk en aarde, maar tientallen kilometers boven onweerswolken **ontstaan óók lichtflitsen**: rode vlammen (*sprites*), blauwe fonteinen (*blue jets*), groene blobs (*ghosts*), gloeiende schotels (*halo's*), en gigantische ringen (*elves*). Dit zijn allemaal *transient luminous events* (TLE's), Engels voor 'voorbijgaande lichtgevende verschijnselen'. "**Veel mensen hebben er nog nooit van gehoord**", lacht dr. Oscar van der Velde, TLE-onderzoeker aan de Polytechnische Universiteit van Catalonië (Spanje).

In tegenstelling tot bliksem-schichten, die bestaan uit een witheet bliksemkanaal, bevinden TLE's zich op grote hoogte in lucht die te ijel is om zo'n geconcentreerd kanaal te vormen. Het licht dat TLE's afgeven wordt uitgezonden door luchtmoleculen die energie krijgen van botsingen met versnelde elektronen, veroorzaakt door elektrische velden tussen onweerswolken en de bovenste laag van de atmosfeer (de ionosfeer).

Omdat ze zo hoog in de atmosfeer plaatsvinden, bóven grote stormwolken die het zicht vanaf de grond eronder blokkeren, en omdat TLE's veel minder fel zijn dan bliksem en meestal maar milliseconden lang duren, **zijn het niet de makkelijkste objecten om te bestuderen**.

Onderzoekers als Van der Velde gebruiken high-speed camera's, bliksemdetectiesystemen, weerradars en satellieten. De Europese ruimtevaartorganisatie ESA werkt hier ook aan mee: sinds 2018 worden TLE's onderzocht met behulp van de Atmosphere-Space Interactions Monitor (Asim) aan boord van het internationale ruimtestation.

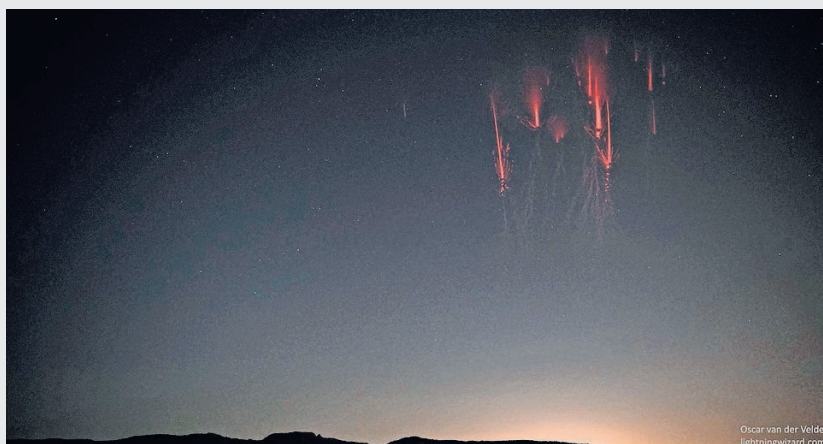
Van der Veldes huidige onderzoek richt zich op de vraag waarom sommige onweersbuien *gigantic jets* produceren. "Gigantic jets zijn **zeldzame blauw-rode fonteinvormige ontladingen**, die omhoogschieten van de wolke top helemaal tot de ionosfeer, zo'n 70-80 kilometer hogerop. Een spectaculair fenomeen, maar jammer voor Nederland: je vind ze alleen in de tropen.

Een deeltjesversneller

Bij onweer denk je niet snel aan kernreacties en antimaterie, elementaire deeltjes die de spiegelbeelden zijn van de alledaagse materie die wij kennen. Maar uit metingen blijkt dat onweer **intense, kortdurende flitsen van hoogenergetische straling** produceert, zogeheten gammastraalfitsen, en bundels van elektronen en hun positief geladen antideeltjes, positronen, die bijna zo snel gaan als het licht. Dit kwam als een grote verrassing, want we kennen op aarde maar twee andere bronnen van zoveel energie: **kernreacties en kosmische straling**.

In 2017 kwam hier nog een tweede verrassing bij, toen vier detectoren bij een kerncentrale in Niigata, Japan, gammastraling oppikten van een bliksem-schicht, met kort daarna nog een tweede piek in gammastraling, afkomstig van stikstofatomen die radioactief zijn omdat hun kern een neutron te veel bevat. Die extra neutronen moeten afkomstig zijn van eerdere kernreacties, aangespoord door de eerste gammaflits. **Zo blijken bliksem en onweer te werken als natuurlijke deeltjesversnellers**. Hoogleraar Ute Ebert, natuurkundige aan het Centrum Wiskunde & Informatica te Amsterdam: "Het is nog een grote uitdaging om te verklaren hoe elektronen in onweer zoveel energie kunnen oppikken, dat er gammastraling, antimaterie en kernreacties optreden."

Kernreacties hebben extreem veel energie nodig, maar onweer genereert ook veel minder-energetische chemische reacties. Zo worden luchtmoleculen van stikstof (N₂) en zuurstof (O₂) door bliksem veelal geïoniseerd en zelfs helemaal opgesplitst, waarna broeikasgassen als stikstofoxiden (NO_x) en ozon (O₃) ontstaan. **De link tussen onweer en klimaatverandering** moet nog beter onderzocht worden, maar de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) heeft onlangs bliksem aangewezen als 'essentiële klimaatvariabele', wat betekent dat er serieus rekening moet worden gehouden met de invloed van bliksem op het klimaat, en andersom.



Rode vlammen (sprites) tijdens een onweersbui. FOTO OSCAR VAN DER VELDE