

ZENIT

Prijs € 6,00
Juli-augustus 2020
www.zenitonline.nl

De
sterrenhemel
van
juli-augustus

Sterrenkunde • Weerkunde • Ruimteonderzoek

**Gammaflitsen:
van enigma naar begrip**

**Kurkentrekkervormige
jet bij zwart gat**

**Formule voorspelt
ondergrondse oceanen
op ijsmanen**

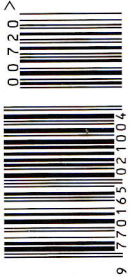
**Nederlands
sterrenkundig onderzoek**

In gesprek met Rutger Bus:
fotograaf van *nightscares*

'Boerenprofessor' en lenzenlijper
Bauke Miedema

Perseverance zoekt naar
sporen van leven op Mars

Op bezoek bij de sterrenwachten
La Silla, Paranal en ALMA



Gammaflitsen: van enigma naar begrip

- De in de jaren zestig ontdekte gammaflitsen vormden lange tijd een sterrenkundig mysterie.
- Om de aard van gammaflitsen te achterhalen, was de bepaling van de afstand van deze kosmische fenomenen essentieel.
- Dankzij nauwgezet onderzoek beschikken astronomen tegenwoordig over verklaringsmodellen voor het ontstaan van korte en lange gammaflitsen.

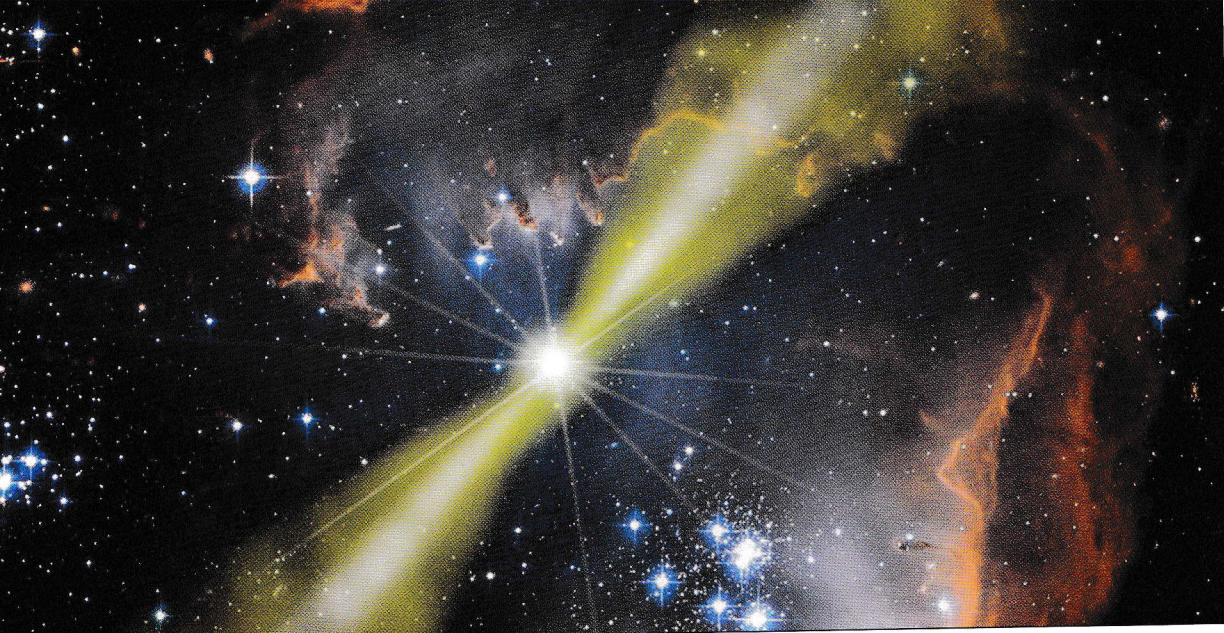
Vrijwel dagelijks bereikt ons vanuit de onmetelijke ruimte een flits van extreem energieke gammastralen. Een halve eeuw na de ontdekking van deze raadselachtige flitsen blijkt na nauwgezet 'detectivewerk' dat zij veroorzaakt worden door het ineenstorten van een zware ster tot een zwart gat, of door het versmelten van twee neutronensterren. Elke gammaflits is uniek en zit vol met verrassingen en elke gammaflits verschaft nieuwe informatie over het verre heelal. Langzaam wordt de sluier rond deze zeer energierijke uitbarstingen steeds verder opgelicht.

Door Jure Japelj en Lex Kaper (Sterrenkundig Instituut Anton Pannekoek, Universiteit van Amsterdam) *

Gammaflitsen (*gamma-ray bursts* oftewel GRBs, Figuur 1) zijn uitbarstingen van kosmische gammastralen met een duur van enkele milliseconden tot tientallen minuten. Zij werden voor het eerst ontdekt in 1967, ten tijde van de Koude Oorlog, door de militaire Vela-satellieten. Deze waren gelanceerd om te controleren of er geen kernproeven in de atmosfeer of in de ruimte werden gedaan, zoals afgesproken in het Kernstopverdrag uit 1963. Pas in 1973 werd deze geheime informatie gepubliceerd (Klebesadel et al. 1973). Het BATSE-experiment aan boord van het *Compton Gamma-ray Observatory*, door NASA gelanceerd in 1991, liet zien dat er twee soorten gammaflitsen voorkomen: flitsen korter en langer dan twee seconden. Dat de duur van gammaflitsen duidelijk uiteenvalt in twee groepen suggereert dat er twee verschillende fysische mechanismen achter schuil gaan.

Afstand

Zonder kennis van de afstand van deze bronnen is het echter niet mogelijk om hun fysische oorsprong te achterhalen. In 1997 detecteerde de Italiaans-Nederlandse satelliet *BeppoSAX* een röntgenbron in de richting van de gammaflits GRB970228 (Costa et al. 1997), zodat het voor het eerst mogelijk werd om heel precies de positie van een gammaflits aan de hemel te bepalen (Figuur 2). Met deze positie lukte het om ook in zichtbaar licht het nagloeien van de gammaflits te meten. Dat is heel belangrijk, omdat in zichtbaar licht heel gedetailleerde informatie is te verkrijgen over fysische eigenschappen en de omgeving van de gammaflits. Slechts een paar dagen later was de heldere bron verdwenen en werd een zwak melkwegstelsel zichtbaar (Van Paradijs et al. 1997). Dit was een sterke aanwijzing dat gammaflitsen een kosmologische oorsprong hebben, dat wil zeggen dat ze zich ver buiten ons eigen Melk-



Figuur 1. Impressie van een gammaflits. Gammaflitsen zijn de krachtigste explosies sinds de Oerknal. (NASA/Swift/Mary Pat Hrybyk-Keith en John Jones)

wegstelsel bevinden. Later dat jaar zou het eerste optische spectrum van het nagloeien van een gammaflits aantonen dat het afstanden van miljarden lichtjaren betreft, zoals verderop uitgelegd. (Metzger et al. 1997). Meer over de eerste detectie van het nagloeien van een gammaflits in De Pionier op blz. 29 van dit *Zenit*-nummer.

Dat we gammaflitsen ondanks hun enorme afstanden kunnen waarnemen, betekent dat zij enorm veel energie produceren. In enkele minuten straalt een gammaflits meer energie uit dan de zon gedurende zijn gehele leven van meer dan tien miljard jaar. Gedurende deze korte tijd zijn gammaflitsen de krachtigste explosies in het heelal, slechts overtroffen door de oerknal zelf.

De Swift-satelliet

De lancering van NASA's *Neil Gehrels Swift Observatory* in 2004 heeft voor een revolutie in het onderzoek aan gammaflitsen gezorgd. Deze satelliet is speciaal ontworpen voor het detecteren van gammaflitsen en het nagloeien daarvan in röntgenstraling en zichtbaar licht. Sinds de lancering heeft Swift ruim 2100 *afterglows* van gammaflitsen waargenomen, waarvan ongeveer 1400 in röntgenstraling en 700 in zichtbaar licht.

Deze *afterglows* leren ons veel over de extreme fysische condities die heersen tijdens het produceren van een gammaflits en helpen de oorsprong van deze uitbarstingen te begrijpen. Het belangrijkste is dat de optische *afterglow* ons in staat stelt om met behulp van een spectrum de afstand tot de bron te bepalen. Het gas in de gaststelsels laat een signatuur in de vorm van spectraallijnen achter in het spectrum. Door de uitdijning van het heelal is het waargenomen spectrum, met daarin de spectraallijnen,

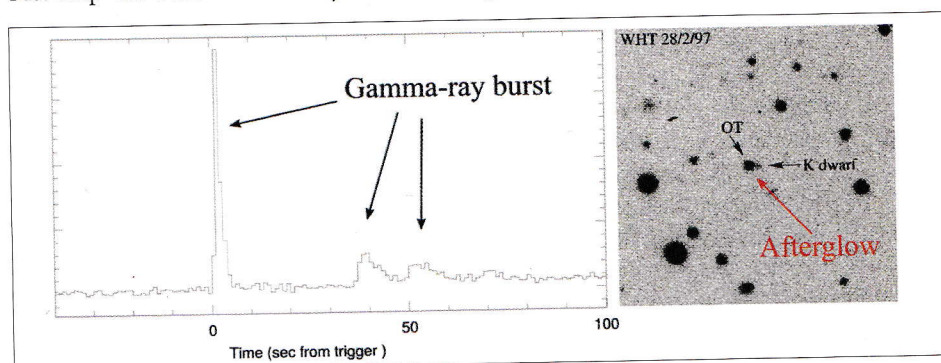
Met hulp van Swift is er duidelijk onderscheid gemaakt in de eigenschappen van korte en lange gammaflitsen.

opgeschoven naar langere golflengten (roodverschuiving). Deze roodverschuiving is een maat voor de afstand. Inmiddels hebben we de afstand tot meer dan 500 gammaflitsen gemeten. Deze afstanden zijn zo groot dat sinds de explosie de straling miljarden jaren onderweg is geweest om ons te bereiken. Daarmee krijgen we informatie over intrinsiek zwakke melkwegstelsels in het vroege heelal (de leeftijd van het heelal wordt geschat op 13,7 miljard jaar). Met hulp van Swift is er duidelijk on-

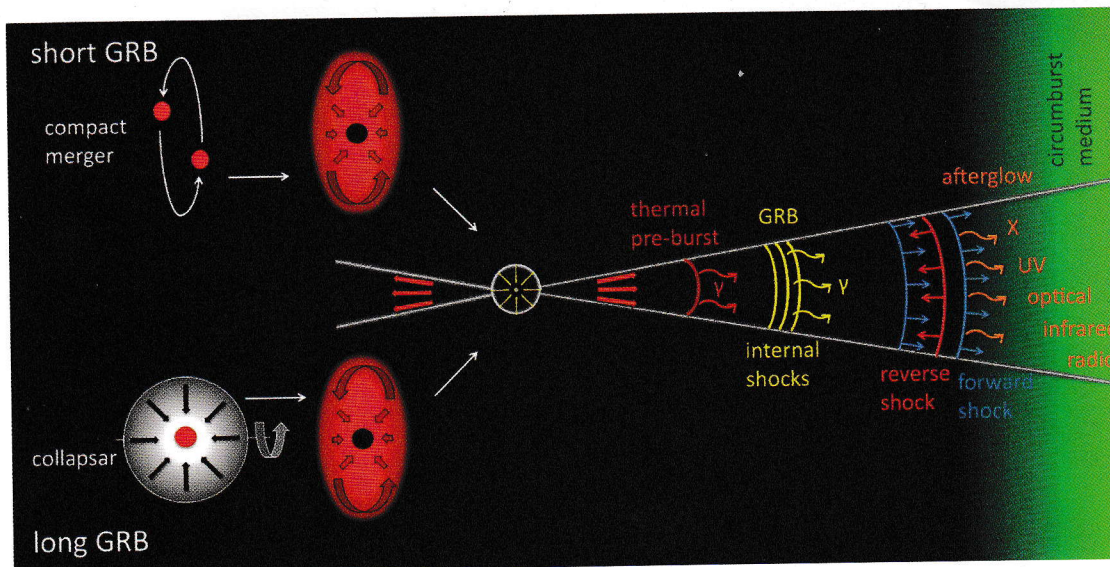
derscheid gemaakt in de eigenschappen van korte en lange gammaflitsen. Korte gammaflitsen bevinden zich op minder grote afstanden, hebben zwakkere *afterglows* en worden gevonden in (elliptische) melkwegstelsels met een oude sterpopulatie. Stervorming en jonge, zwakke en kortlevende sterren treffen we in deze stelsels niet meer aan. Lange gammaflitsen hebben hun oorsprong daarentegen wel in melkwegstelsels met jonge, zware sterren.

Extreme omstandigheden

De fysische oorsprong van korte en lange gammaflitsen verschilt. Een lange gammaflits ontstaat tijdens het stervensproces van een zware ster, terwijl een korte gammaflits het gevolg is van het versmelten van twee neutronensterren die voorheen een dubbelster vormden. We gaan later verder in op deze twee processen. In beide gevallen is het eindproduct zeer waarschijnlijk een zwart gat, of een snel roterende neutronenster die uiteindelijk ook ineentorst tot een zwart gat. Hierna wordt de gammastra-



Figuur 2. GRB 970228 was de eerste gammaflits waarvan het nagloeien in zichtbaar licht werd gedetecteerd. Links: de gammaflits heeft een duidelijke smalle piek met een breedte van slechts enkele seconden, gevolgd door een aantal kleinere uitbarstingen. Rechts: een team geleid door de Amsterdamse astronomen Jan van Paradijs en Paul Groot ontdekte met de William Herschel Telescope op La Palma in zichtbaar licht het nagloeien, ofwel de zogenaamde *afterglow*, van GRB 970228. Na een paar dagen is de bron verdwenen. (Costa et al. 1997, Van Paradijs et al. 1997)



Figuur 3. Illustratie van de vormingsmechanismen van korte en lange gammaflitsen: het versmelten van een compacte dubbelster van neutronensterren en het ineenstorten van een zware ster. (A. Gomboc)

ling op eenzelfde wijze opgewekt (Figuur 3). Aan twee kanten van het centrale object vormt zich een straalstroom (*jet*) van geladen deeltjes die zijn gevangen in een magnetisch veld. De deeltjes in de straalstroom bewegen zich met een relativistische snelheid, bijna de snelheid van het licht (300.000 km/s). Aangezien niet alle deeltjes in de straalstroom met dezelfde snelheid bewegen, ontstaan er in de jet botsingen waarbij veel energie in de vorm van gammastraling vrijkomt. Door de extreem hoge snelheden wordt de gevormde straling in de bewegingsrichting van de deeltjes in de straalstroom uitgezonden, een effect dat uit de relativiteitstheorie van Einstein volgt. Daarom kunnen we alleen een gammaflits waarnemen als de straalstroom precies in onze richting wijst. Dat houdt in dat we misschien maar 1 op de 10 tot 100 gammaflitsen waar kunnen nemen.

Maar dat is nog niet het hele verhaal. Sterren in stervormende melkwegstelsels worden omringd door gas en stof. Slechts enkele seconden na de explosie bereikt de straalstroom interstellair materiaal in de omgeving rond de bron van gammastralen. De straalstroom botst met het omringende gas en stof waardoor de deeltjes worden afgeremd en energie vrijkomt. Dit zorgt voor de afterglow. In tegenstelling tot de oorspronkelijke gammaflits komen er nu ook röntgenstraling, zichtbaar licht en radiostraling vrij. Deze straling kan dagen of soms maanden later nog worden gedetecteerd.

X-shooter

Een aantal belangrijke resultaten in het onderzoek aan gammaflitsen is verkregen met de *X-shooter*-spectrograaf van de Very Large Telescope (VLT) op de sterrenwacht Paranal van de Euro-

pese Zuidelijke Sterrenwacht in Chili. *X-shooter* is de meest gevoelige spectrograaf in de wereld en is nu precies tien jaar in gebruik; onderdelen hiervan zijn onder andere in Nederland ontworpen en gebouwd. Een unieke eigenschap van *X-shooter* is het enorme golflengtebereik van 300 – 2500 nm (ultraviolet tot nabij-infrarood). Dat is ideaal voor de detectie van bronnen waarvan de afstand onbekend is, zoals gammaflitsen. Inmiddels heeft een internationaal team van astronomen, waaronder een aantal uit Amsterdam, voor meer dan 100 gammaflitsen een *X-shooter*-spectrum opgenomen (Selsing et al. 2019). Deze unieke dataset heeft geleid tot verschillende interessante ontdekkingen waarvan we hier een aantal rapporteren.

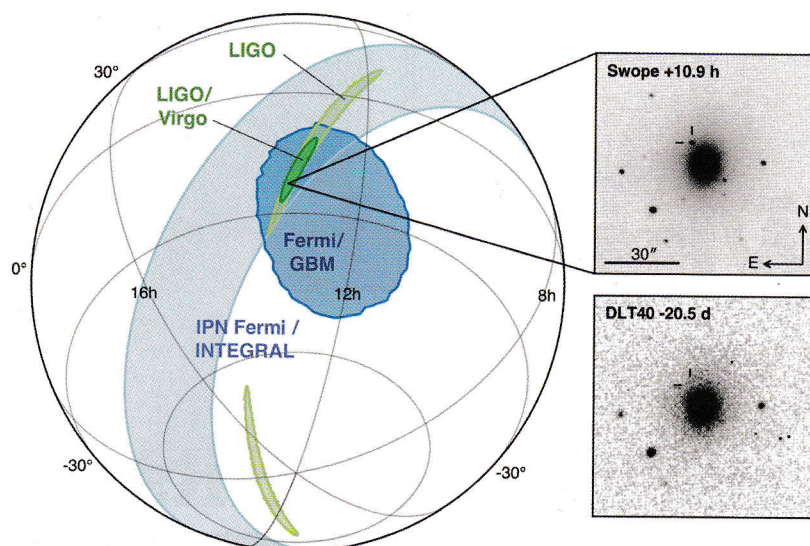
Lange flitsen

Sterren worden geboren uit grote gaswolken die ineenstorten onder hun eigen zwaartekracht. Uit een zogenaamde moleculaire wolk worden duizenden sterren geboren, de meeste met een massa vergelijkbaar met die van de zon. Een klein aantal heeft een grotere massa, wel 10 tot 100 zonsmassa. Deze zware sterren leven volgens het principe *live fast, die young*. In de kern van de zon levert de fusie van waterstof tot helium de energie die de zon zo'n 10 miljard jaar kan laten schijnen. Een zware ster houdt het, ondanks de grotere voorraad waterstof, maar een paar miljoen jaar vol. Dit vanwege de veel grotere lichtkracht van een zware ster. Als de waterstofvoorraad op is, verbrandt de ster helium tot koolstof en, in steeds kortere stadia, via zuurstof, magnesium, enz. tot ijzer is gevormd. De fusie van ijzer kost energie waardoor de ster kern geen weerstand meer kan bieden tegen de zwaartekracht en ineenstort. De ijzern kern wordt zo

compact dat protonen en elektronen in neutronen worden omgezet. Hierbij komen veel neutrino's vrij, spookachtige deeltjes die vrijwel geen interactie hebben met gewone materie. Het zijn waarschijnlijk deze neutrino's die op hun weg naar buiten de naar binnen vallende delen van de ster tegenhouden en deze vervolgens naar buiten slingeren. Dit is het begin van de supernova-explosie die de dood van een zware ster markeert. Wat overblijft na de explosie is een compacte kern, een neutronenster of een zwart gat. Tijdens het nagloeien van lange gammaflitsen wordt regelmatig straling waargenomen die op een supernova wijst. De eerste maal in GRB980425, toen de meest nabije gammaflits. De Amsterdamse promovendi Titus Galama en Paul Vreeswijk lieten zien dat spectra van de heldere supernova SN1998bw, die zich in het gebied van de gammaflits bevond, erop duiden dat gas werd weggeslingerd met snelheden van enkele tienduizenden km/s. Maar hoe werkt dat precies? Hoe vormt de straalstroom zich en hoe baant die zich een weg door de mantel van de ineenstortende ster? Onlangs waren we getuige van precies dit proces: in GRB171205A werd naast de afterglow en de begeleidende supernova een derde component zichtbaar, de cocon die zich vormt doordat de straalstroom door de mantel naar buiten blaast (Izzo et al. 2019). Dit was precies zoals voorspeld door gedetailleerde fysische modellen.

Korte gammaflitsen

De meeste zware sterren bevinden zich in dubbelstersystemen waarin twee sterren om elkaar heen draaien. In compacte dubbelstersystemen vindt soms massa-overdracht tussen de componenten plaats, wat er toe kan leiden dat na de



Figuur 4. De detectie en plaatsbepaling van de bron van gravitatiestraling GW170817 en de begeleidende korte gammaflits. In het linker plaatje zien we de *error box* van de locatie van GW170817 zoals bepaald door de LIGO (lichtgroen) en LIGO/Virgo (donkergroen) detectoren. Ook de onzekerheid in positie van de gammaflits gemeten door de INTEGRAL (lichtblauw) en Fermi-satellieten (donkerblauw) is aangegeven. In dit gebied bevindt zich een steeds zwakker wordende lichtbron (de zogenaamde kilonova) in een helder ellipsvormig melkwegstelsel (rechtsboven). In een archiefopname van het gebied is deze bron onzichtbaar (rechtsonder). (Abbott et al. 2017)

eerste supernova ook de andere ster in het systeem een neutronenster (of zwart gat) achterlaat (bij een tweede supernova), terwijl het dubbelstersysteem niet ontbonden wordt. Zoals voorspeld door de algemene relativiteitstheorie van Einstein komen de sterren van zulke compacte dubbelstersystemen steeds dichterbij elkaar te staan, doordat ze gravitatiegolven uitzenden. Uiteindelijk zullen de twee neutronensterren samensmelten tot een zwart gat. Theoretische modellen voorspellen dat dit samensmelten gepaard gaat met een korte gammaflits. Deze versmelting van twee neutronensterren leidt tot een sterke rimpeling van ruimtetijd die zich door de ruimte met de lichtsnelheid verplaatst. In 2017 registreerden de LIGO en Virgo-detectoren zulke gravitatiegolven en tegelijkertijd werd vanuit deze richting een korte gammaflits gezien (GRB170817A, Figuur 4). Deze bijzondere gebeurtenis werd gevolgd door elk beschikbaar instrument vanaf de grond of vanuit de ruimte (Abbott et al. 2017), met fascinerende resultaten (Zenit januari 2018, blz. 30-33; mei 2019, blz. 30-33). Allereerst bevestigde deze waarneming de theoretische voorspelling dat korte gammaflitsen het gevolg zijn van samensmeltende neutronensterren. Tot op heden is dit de enige keer dat van een uitbarsting van gravitatiegolven een elektromagnetisch signaal is waargenomen. Zo kon ook het elliptische gaststelsel geïdentificeerd worden en nieuwe informatie worden verkregen over de evolutie van het heelal. Misschien wel de belangrijkste conclusie is dat de versmelting van neutronensterren leidt tot een zogenaamde *kilonova*, veroorzaakt door de vorming (en het radioactieve verval) van zware elementen zoals strontium en goud (Figuur 5). Het is erg waarschijnlijk dat het goud in onze

sieraden ooit bij de versmelting van twee neutronensterren is geproduceerd.

Kosmische bakens

Gammaflitsen geven een unieke kijk op het verre heelal. De explosies vinden plaats in stervormingsgebieden in jonge melkwegstelsels. Het elektromagnetische signaal reist via het gaststelsel naar ons toe en komt onderweg door andere melkwegstelsels in de gezichtslijn. Daarbij absorberen het gas en stof een deel van het licht, waardoor wij met behulp van het spectrum de fysische en chemische eigenschappen van dit materiaal in kaart kunnen brengen.

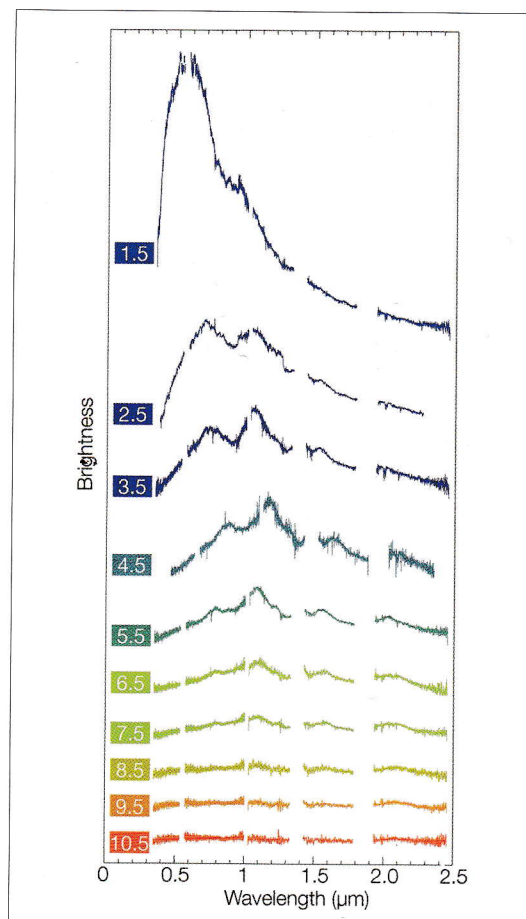
De gaststelsels bevinden zich op extreem grote afstanden en zijn van zichzelf te zwak om ze vanaf de aarde te kunnen waarnemen – zelfs met de grootste telescopen is dat niet mogelijk. Maar dankzij de gammaflits kunnen we ze toch zien en zelfs gedetailleerde informatie over hun eigenschappen verkrijgen, en dus over de toestand van het vroege heelal. Het grote aantal X-shooter-spectra verschaft een rijke bron aan informatie over de extreme fysische condities die zorgen voor het ontstaan van een gammaflits en geeft ons inzicht in de vroege ontwikkeling van melkwegstelsels en stervorming vlak na de oerknal.

Toekomst

De studie van gammaflitsen gaat meer dan vijftig jaar na hun eerste ontdekking nog steeds door. Er zijn belangrijke resultaten geboekt op een breed scala van vakgebieden, van astrofysica tot kosmologie. Verschillende nieuwe satellieten zullen in de nabije toekomst operationeel worden, waardoor nieuwe ontdekkingen in het verschiet liggen. Maar een deel van het succes van de gammaflitsen komt door het verrassingsmoment. Elke

gammaflits is uniek, met een grote kans op een onvoorspelbaar resultaat. En daarmee kan weer een klein stapje worden gezet in ons begrip van het heelal. ●

* Met dank aan Sarah Brands voor de eindredactie.



Figuur 5. Een serie X-shooter-spectra van de kilonova, waargenomen gedurende 12 dagen na de korte gammaflits GRB170817A. Het eerste spectrum werd opgenomen 1,5 dag na de detectie van de gravitatiegolven van GW170817. Elk spectrum omvat het golflengtegebied van het ultraviolet tot het nabij infrarood. Modellen van de brede emissielijnen (pieken) in het spectrum tonen aan dat tijdens deze gebeurtenis de zwaarste elementen in het periodiek systeem worden gevormd (Watson et al. 2019). (ESO/E. Pian et al./S. Smartt & ePESSTO)