

Zwaarwichtige expedities

Rob Rutten

Dit verhaal begint in Kiev in 1980. Of feitelijk tien jaar eerder in Mexico. Daar nam een van de roemruchte Utrechtse eclipsexpedities onder leiding van J. Houtgast op 7 maart 1970 een totale zonverduistering waar die ruim zeven minuten duurde¹. De lange duur werd niet benut want het ging Houtgast zoals altijd om het spectrum van de chromosfeer gedurende de luttele seconden dat die nog niet en de fotosfeer al wel door de maan wordt afgedekt. Met een grote spectrograaf in een lichtdichte keet werd een stukje spectrum in het blauw opgenomen. De selectie daarvan was door C. Zwaan voorgesteld omdat het de resonantielijijn van Ba II bevat, golflengte 4554 Å (figuur 1). Zwaan opperde die lijn als bijzonder geschikt om chromosferische turbulentie mee te meten. Het is een resonantielijijn uit het grondniveau van de dominante ionisatietrap, atomair analoog aan de Ca II K lijn die de sterkste lijn in het optische zonnenspectrum is, maar door de kleine bariumabondantie is de 4554 Å lijn minder sterk. Door de grote massa van het bariumatoom heeft deze lijn weinig thermische verbreding zodat niet-thermische turbulente bewegingen al vlug overheersen in de waargenomen Dopplerbreedte.

Die waarnemingen leidden tot mijn proefschrift over de vorming van de Ba II 4554 lijn in de chromosfeer. Het thema daarvan werd uiteindelijk niet zozeer de turbulentie maar een diepergravende kwestie waarover Houtgast zelf in 1942 (mijn geboortjaar) een beroemd proefschrift had geschreven: de vraag of atomen bij resonantieverstrooiing nu wel of niet de preciese fotonfrequentie "onthouden". Vóór Houtgast's proefschrift werd meestal aangenomen dat zulke verstrooiing coherent is; sindsdien, dat volledige redistributie over het lijnprofiel een betere benadering is. Beide uitersten zijn fout maar de kwestie is zo ingewikkeld (en feitelijk niet echt opgelost) dat de meeste astrofysici hem negeren door in Houtgast's voetspoor complete redistributie aan te nemen. Dat bleek voor de bariumlijn echter niet te kunnen: aan de uiterste zonsrand vertoont die een dubbelgepiekt lijnprofiel dat coherente verstrooiing verraadt. Later is dat door twee van mijn ei-

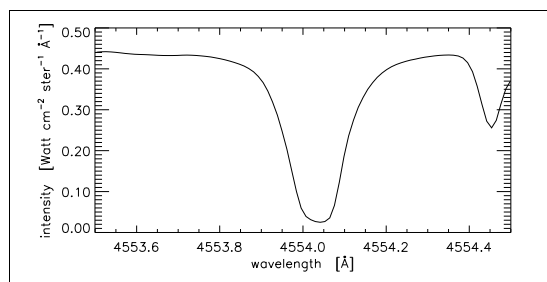
gen promovendi (Uitenbroek en Bruls) theoretisch nagerekend.

Nu naar 1980 en Kiev. Ik werkte daar twee maanden als gast van de Oekraïense Akademie van Wetenschappen en amuseerde me in de lange koude herfstavonden door te musiceren met een Hongaarse collega, Andras Ludmany, die er aan zijn proefschrift over zonnevleckspectra werkte. Het was de tijd van Brezjnef, naargeestig communisme zette de toon; als vrolijke noot concerteerden we ter ere van de Russische revolutie maar het bleef er een sombere boel. Derhalve veel tijd voor onderzoeksdicussies: de hele bariumexpeditie passeerde de revue.

Een jaar geleden kwam ik Ludmany weer op een conferentie tegen. Hij bleek de website van onze DOT² nauwgezet te volgen en kwam onmiddellijk met een suggestie: "*are you aware of the Ba II 4554 filter that Smorovosky at Irkutsk used in the mid-seventies to observe solar dynamics? That filter shows a more dynam-*

¹Kom daar nou eens om. De Europese zonsverduistering op 11 augustus 1999 was nog geen 2.5 minuut, de Afrikaanse op 21 juni haalt de 5 minuten niet, en de eerste die de zeven-minutengrens weer overschrijdt is pas op 25 juni 2150.

²Dutch Open Telescope: <http://dot.astro.uu.nl>



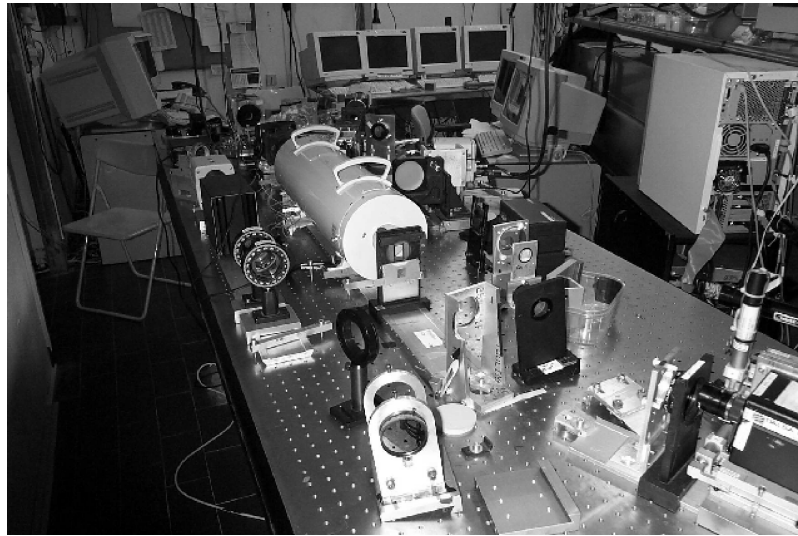
Figuur 1: De Ba II 4554 Å lijn in het spectrum van de zon. De lijn is ondanks de geringe thermische Dopplerbreedte niet smal (en asymmetrisch) omdat er diverse barium-isotopen bijdragen en het bariumspectrum grote hyperfijnstructuur heeft tengevolge van interactie met het magnetische moment van de kern. De breedte maakt dat de twee flanken goed te scheiden zijn met het 0.08 Å brede Lyotfilter uit Irkutsk. De lijnflanken zijn wel bijzonder steil door de grote massa van barium; dat maakt de lijn gevoelig als snelheidsmeter. Deze registratie is voor het midden van de zonneshijf zonder oplossing van fijnstructuur in de zonneatmosfeer, waarin stijgende hete gasbellen helderder zijn met blauwvershoven lijnen en dalende koudere belLEN donkerder met roodvershoven profielen. Die verschillende bijdragen zijn hier allemaal opgeteld.

cal photosphere than any other spectral passband. Can't you get into contact him and put it on your DOT? It should be very worthwhile to observe such dynamics at your high angular resolution". Ik had nog nooit van Skomorovsky gehoord maar dit klonk interessant. Ludmany zei dat Skomorovsky een voortreffelijke opticus is, hoofd van een grote optische instrumentatiegroep in Irkutsk, en eersteklas expert in dubbelbrekende optiek, de techniek waarmee in Lyotfilters smalbandige golflengteselectie wordt verkregen. Ludmany had hem recent bezocht om een Lyotfilter uit Debrecen (waar Ludmany inmiddels directeur is) op te lappen. Hij had toen de oude barium-beelden te zien gekregen.

Dus Skomorovsky een e-mail gestuurd. Antwoord: *"Thank you for very interesting suggestion I received yesterday. I'd like to reply very fast with details, but I couldn't do it because it was so unexpected and too glad news for me."* en een hele rij postscript files met scans van de oude fotografische opnamen. Het bleek inderdaad

een Lyotfilter te zijn, verstelbaar naar en door de Ba II 4554 lijn met uitzonderlijk nauwe bandbreedte ($80 \text{ mÅ} = 8 \text{ pm}$), waarschijnlijk het smalste ter wereld. De oude opnamen bleken inderdaad interessant ook al was de beeldscherpte nergens naar — in termen van wat we inmiddels met de DOT gewend zijn.

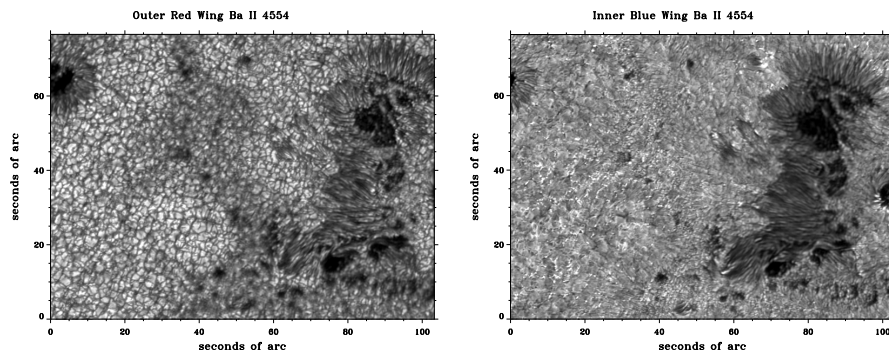
De DOT is al enkele malen in de Vakidoot beschreven; hier een korte samenvatting. Het is een nieuwe en innovatieve zonnetelescoop ontworpen door R.H. Hammerschlag van het Sterrekundig Instituut (eveneens op voorstel van C. Zwaan) en gebouwd door de werkplaatsen van sterrenkunde, natuurkunde (nu IGF) en de Delftse universiteit. Hij werd eind 1997 door prins Willem-Alexander ingezegend ("First Light Ceremony") en is inmiddels de scherpste zonnetelescoop ter wereld. Daaraan dragen drie hoedanigheden bij. Ten eerste staat de DOT op wat voor zover bekend de beste plaats voor optische zonnewaarnemingen op aarde is: de vulkaanrand van de Caldeira de Taburiente op het Cana-



Figuur 2: Opstelling van het bariumfilter (grote witte buis met handvaten) op de optische tafel in de kelder van de Zweedse zonnetelescoop. De zonsbundel komt rechtsonder binnen en wordt verdeeld tussen een snel volgsysteem (rechtsonder) en het bariumfilter. Allerlei lenzen en filters resteren van andere opstellingen.

rische eiland La Palma. Als de noordoostpassaat daar flink tegenaan blaast is de lucht onrust die de waarnemingsscherpte verziekt ("seeing") er bijzonder klein. Ten tweede: de open structuur van de DOT en de 15-meter hoge DOT toren waar de passaat dwars doorheen blaast. De DOT verstoort de laminaire passaat minimaal en de passaat verschoont het DOT-inwendige maximaal van interne turbulentie — bij zonnetelescopen is die altijd een probleem omdat de zonnestraling inclusief zonnewarmte in het focus gebundeld wordt. Ten derde: de spikkelreconstructietechniek waarmee de DOT-beelden worden gecorrigeerd voor de seeing in de hogere luchtlagen. Deze techniek is ingebracht door Pit Sütterlin, een met EU-geld aangestelde postdoc die de combinatie La Palma, DOT en spikkelreconstructie heeft uitgebuit in zijn productie van de eerste DOT

beeldsequenties. Die zijn als films op de DOT-site aanklikbaar en zijn van fabelachtige kwaliteit! Ze hebben de DOT al een grote naam bezorgd — zozeer dat de Duitsers en de Amerikanen nu grotere (en véél duurdere) zonnetelescoopprojecten opstarten die het DOT-principe volgen. In Utrecht heeft de Instrumentatiegroep Fysica (IGF) inmiddels een nieuw data-acquisitiesysteem opgezet waarmee de scherpe DOT beeldregistratie (tot dusver met een eenvoudige analoge videocamera op maar één golflengte) wordt uitgebreid tot een digitaal meer-kanaalsysteem waarmee de zonne-atmosfeer op meerdere hoogtes tegelijk wordt bemonsterd. De DOT krijgt daarmee unieke mogelijkheden tot het scherp in kaart brengen van de magnetische topologie en dynamica van de fotosfeer, chromosfeer en overgang naar de corona. Meer hierover op de DOT website en



Figuur 3: Zonsbeelden opgenomen in respectievelijk de rode en de blauwe vleugels van de Ba II 4554 Å lijn. Beide beelden zijn door Sütterlin “aangescherpt” door middel van spikkelreconstructie. De rode vleugel toont vooral de granulatie omdat daarin grotere helderheid gepaard gaat met blauwverschuiving (hete convectieve opwellingen). Er ligt een donker waas over het fakkelgebied in het midden van het veld omdat daar de granulatie “abnormaal” is. De blauwe vleugel is vooral helder waar blauwverschuiving correleert met helderheid, in en rond magnetische veldbuisjes.

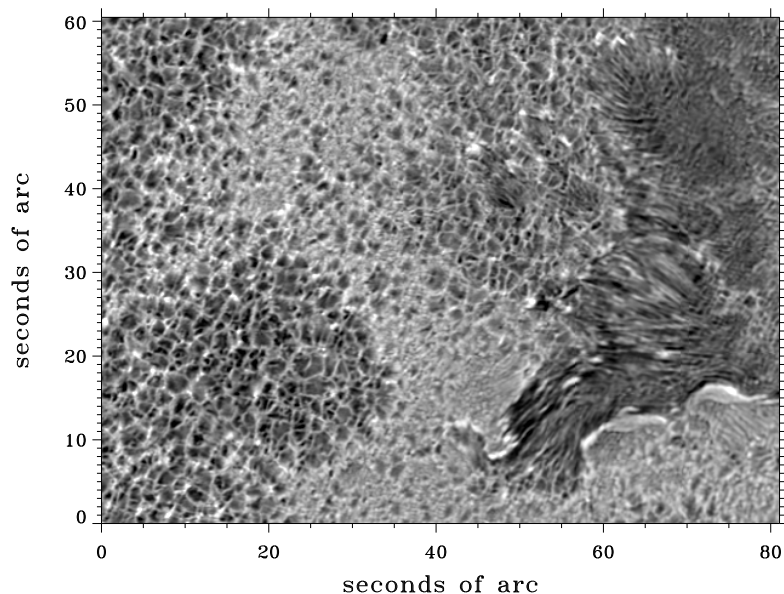
in eerdere Vakidioten (ook aanklikbaar onder (p)reprints op de DOT website).

Het leek interessant Skomorovsky's filter uit te proberen. Het is een mechanisch bakbeest dat helemaal niet zomaar in de plaatsbepaalde DOT-structuur past, dus even testen is er niet bij. Gelukkig was vorige zomer de Zweedse zonnetelescoop op La Palma nog beschikbaar, in het gebouw van waaruit de DOT wordt gerund in hechte samenwerking met de Zweedse collega. Die hebben in September hun telescoop ontmanteld om plaats te maken voor een twee maal zo grote, maar dat is weer een ander verhaal. Desgevraagd was de Zweedse directeur G. Scharmer meteen bereid telescooptijd te spenderen aan een beproeving van het Russische bariumpfilter. Minder makkelijk was het vinden van fondsen: de EU staat het niet toe reisgeld aan Russen te betalen, de DOT-financiering laat geen ruimte voor avonturen, NATO was als mogelijkheid al bezet door samenwerking met Kiev. Maar reisgeld bleek bij elkaar te

sprokkelen uit speciale subsidies van de nationale onderzoeksschool voor de astronomie (NOVA), het Leids Kerkhoven-Bosscha Fonds (dat stoelt op de nalatenschap van de hoofdpersonen in Hella Haasse's "Heren van de thee") en bovenal de stichting SOZOU die C. Zwaan heeft opgericht als zijn laatste daad voor zijn voortijdig overlijden in 1999 en testamentair ruim heeft gunstigd.

Dus kwam er een tweede bariumpexpeditie: Skomorovsky met zijn filter en een technische collega uit Irkutsk naar de Zweedse telescoop op La Palma om daarmee samen met het DOT-team (Sütterlin, Bettonvil, Hamerschlag) de merites van zijn filter te toetsen (tot mijn spijt was ik er zelf niet bij, ik gaf die maand college in Bandung — ook al op geld van de heren van de thee). De resultaten zijn verbluffend. Voorbeelden zijn hierbij afgedrukt, met een foto van de opstelling.

Ook bij deze beelden wordt een belangrijke bijdrage geleverd door de spikkelreconstructie (in simpele termen is dat de



Figuur 4: Een uit vijf barium-beelden door Sütterlin geconstrueerd Dopplergram: een snelheidskaart met neerwaartse snelheden (roodverschuiving) als helder gecodeerd. De beeldscherpte is voldoende om de neerwaartse stromingen in en rond de minuscule veldbuisjes te doen aftekenen. Links zitten ze vooral op kruisingen van intergranulaire lanen. In het midden zijn weinig gewone granules omdat de vele veldbuisjes de convectie verstoren. In het actieve gebied rechts tekenen magnetische filamenten zich af door stromingspatronen.

aanpassing en gebruik van een statistisch model van de turbulentie in de dampkring, met parametermeting aan een snel opgenomen beeldreeks waarin de dampkring variaties veroorzaakte terwijl de zon over die korte tijd niet veranderde) die de beelden aanscherpt maar bovenal zijn het de bijzondere eigenschappen van de bariumlijn die deze beelden zo bijzonder maken, goed bemonsterd dankzij de spectrale smalheid van het filter. Het is inderdaad een prima "snelheidslijn": de helderheidspatronen in en de grote verschillen tussen de beide beelden in figuur 3 zijn vooral het gevolg van Dopplerverschuivingen. Het Dopplergram in figuur 4 is daarom

de beste representatie. Ik heb nog nooit zo'n scherp Dopplergram gezien; het duidelijk kunnen onderscheiden van fluxbuisen in intergranulaire lanen is uniek, maar ook de markante aftekening van de abnormale granulatie in het fakkelveld laat zien dat dit een bijzonder gevoelige diagnostiek is. Waarschijnlijk komt dit omdat bij hoog ruimtelijk scheidend vermogen de spectraallijn zonder versmearing over verschillende structuren veel smaller wordt, en dan telt de spectrale aanscherping door de zware atoommassa des te sterker mee.

Het ligt nu voor de hand dit Siberische filter permanent in de DOT op te nemen

als een uitbreiding van de meer-kanaals optiek waarvoor de behuizing momenteel bij de IGF wordt vervaardigd. Het DOT ontwerpteam (Hammerschlag, Bettonvil, Jaegers) heeft daarvoor een oplossing bedacht. Ook wordt er geld gezocht om de Siberische samenwerking voort te kunnen zetten. De volgende bariumpexpeditie dient zich al weer aan: een Spaanse collega wees er op

dat de Ba II 4554 lijn de grootste gevoeligheid voor lineaire polarisatie heeft van het hele zichtbare spectrum. Dat maakt een proef met polarisatie-optiek dringend, en kan ons wellicht zelfs een Stokes-vector magnetometer leveren — samen met de ongeëvenaarde DOT beeldscherpte een zeer wenselijke combinatie.