

CCD-fotometrie en $A_f[\rho]$ van kometen

Erik Bryssinck

De komst van de CCD-camera's hebben een ware revolutie gebracht binnen de amateur-astrofotografie. Zo ging het ook een beetje bij mijzelf. Eind 1999 ben ik gestart met beoefenen van de astronomie, de astrofotografie trok vrij snel mijn aandacht. Vooral het gebruik van webcamera's intrigeerde me en ik heb er dan ook enkele omgebouwd voor long-exposure toepassingen. Nadat ik later een Genesis camera had gebouwd wou ik iets anders doen dan enkel foto's maken. De CCD-camera geeft de mogelijkheid om verschillende nauwkeurige metingen te gaan uitvoeren van de helderheid van hemellichamen. Dit is de essentie van de wetenschap van fotometrie: nauwkeurige opmeting van de hoeveelheid van licht dat afkomstig is van een hemellichaam. CCD-fotometrie is een zeer breed onderwerp waar de amateur-astronoom zeker zijn gading vindt en de mogelijkheid biedt om samen te werken met professionele astronomen en dit op verschillende vlakken. Ik denk hier bijvoorbeeld aan variabelen, astrometrie zodat de baanelementen bepaald kunnen worden, temperatuur van sterren in een dubbelster systeem, asteroïden, opmeten van exo-planeten en ga zo maar door. Als je zelf door het oculair kijkt, zie je de kleine lichtpuntjes van de sterren. Wanneer je dat licht op je CCD-camera laat vallen verkrijgt je also zeer nauwkeurige en vooral waardevolle wetenschappelijke gegevens. Het specifieke licht dat we van de hemellichamen ontvangen kunnen we verschillende parameters onderscheiden: Is het sterk of eerder zwak? Welke kleur heeft het? Is het constant (of variabel?) in de tijd? Tot nu sprak ik enkel over de lichtpuntjes, maar hoe gaat dit nu met kometen, dit zijn meestal geen lichtpuntjes.

Magnitude van een komeet

De hamvraag waarmee ik bleef zitten: hoe meet je nu op een accurate manier



Afbeelding 1: Komeet C/2007 W1 (BOATTINI) – 10 juli 2008 – (Erik Bryssinck)

de magnitude van een komeet met een CCD camera?

Hier zijn er geen echte strikte afspraken, en zijn er over de jaren verschillende methodieken beschreven met elk hun specifieke verkregen data. Iedere methode had zo zijn voor- en nadelen. Immers je hebt een verspreiding van het licht wat we de coma noemen, die diffuus of eerder geconcentreerd kan zijn, de comadiameter, de heliocentrische afstand, al of niet sterke aanwezigheid van de gasstaart, type instrument, responscurve van de CCD-camera waarmee de waarnemingen gebeuren, en ga zo maar door... Allemaal factoren die de fotometrische meetresultaten van kometen met een CCD-camera, op een of andere manier beïnvloeden.

Magnitude fotometrie

Bedoeling is dus om met amateur materiaal toch goede fotometrische gegevens te verzamelen die vergelijkbaar zijn met zelfs professionele metingen en dus onafhankelijk zijn van de gebruikte telescoopdiameters. De meest gebruikte methode is de magnitude-fotometrie. D.w.z. dat we de geïntegreerde magnitude bepalen met een meetmeetdiafragma gelijk aan de

comadiameter. Dit is een interessante techniek die voldoende nuttige gegevens kan verzamelen met voldoende wetenschappelijke waarde. Deze techniek staat de waarnemers toe om een goede kwalitatieve norm met een vrij eenvoudige methode te bereiken. Eén groot nadeel van deze magnitude-fotometrie is de bepaling van de coma-diameter, dit is heel subjectief en volledig afhankelijk van het gebruikte instrument, de camera, belichtingstijd en de toestand van de hemel en de interpretatie van de waarnemer zelf.



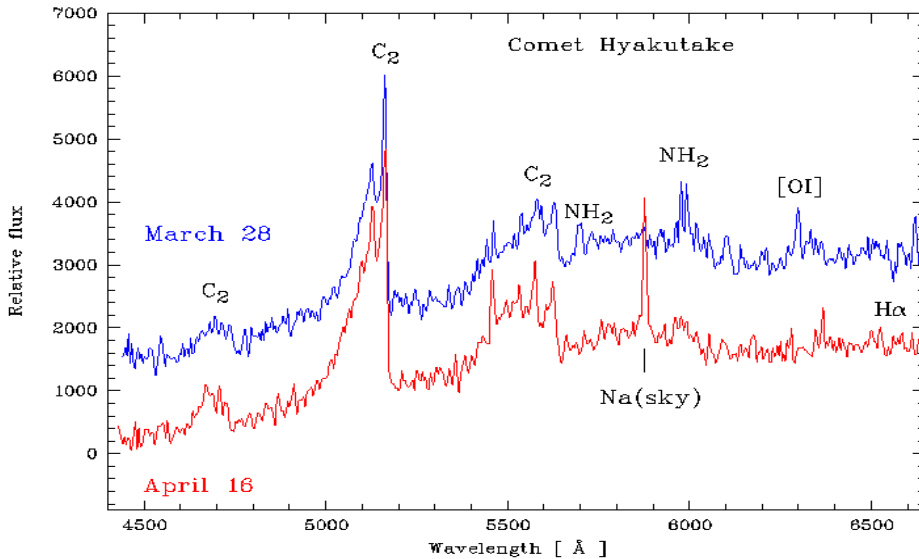
Afbeelding 2 : logaritmische stretch komeet C/2007 W1 (Boattini) – opname: Erik Bryssinck - 2008

Neem zelf de proef op de som en bekijk de foto van komeet C/2007 W1 (BOATTINI) (afbeelding 1+2), je merkt dat het niet eenvoudig is de

juiste coma-diameter te bepalen en waarschijnlijk bekomen we verschillende diameters van verschillende waarnemers. Zoals je merkt heeft deze methode zijn beperkingen. Gelukkig is er de software die ons een handje zal helpen om de grens van de coma beter te

van smal-band filters (of monochromatische filters), met een bepaald spectraal venster om een bepaalde bijzondere gasemissies of gereflecteerd licht door het komeetstof (d.w.z. continuüm) te meten. [6] Over het gebruik van optische filters gaan we nog dieper in.

beide objecten in hetzelfde beeldveld van de CCD vallen, compenseer je zo eventuele afwijkingen door bijvoorbeeld een iets haperende sluiters, de atmosferische extinctie, een toevallig passerende hoge sluierwolk enz... Uiteraard komt er nog veel meer bij kijken zoals de kleur van de referentiestar en het te meten object, hier zijn er ook correcties nodig.



Afbeelding 2: Spectrum Comet Hyakutake

bepalen. Maar dan nog zullen er verschillen optreden i.f.v. het gebruikte instrument. Volgens mijn bescheiden mening is deze methode nuttig om vergelijkingen te maken met de visuele waarnemingen, die door de eeuwen heen werden verkregen, en ook de geïntegreerde magnitude is van de visuele comadiameter. [15]

Het licht van een komeet ?

Het licht dat we ontvangen van een komeet bestaat uit 2 componenten:

- Het licht van de zon dat reflecteerd op de stofdeeltjes van de coma
- De licht-emissie van de gascomponenten van de komeet (zie afbeelding 2) [4]

Meten we zonder optische filter dan verkrijgen we de som van het gereflecteerde licht door het stof alsook de gasemissies. Willen we een bepaalde component isoleren (stof of gas) dienen we dus gebruik te maken van optische filters. In professionele astronomie wordt de komeetfotometrie gebruikt om de productiehoeveelheid aan gas en stof evenals de grootte en eigenschappen van de kern te bepalen. Dit wordt uitgevoerd gebruik makend

CCD-fotometrie

CCD-fotometrie is een hele wetenschap op zich. [10] We kennen de absolute meetmethode en de differentiële meetmethode. Deze laatste wordt door de amateurastronomen het meest toegepast omdat het tal van voordelen heeft. Je vergelijkt immers het ontvangen licht van een gekende ster, die je als referentie gebruikt, met de ster of komeet waarvan je de lichtintensiteit wil kennen. Als deze

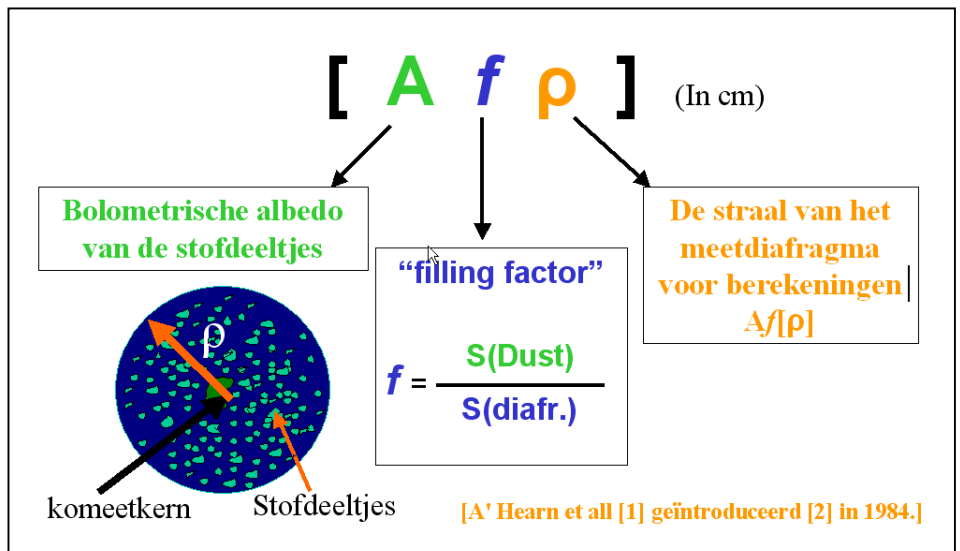
Zoeken naar een procedure fotometrie van kometen

Bij een zoekfunctie op internet en raadplegen van enkele websites verkreeg ik al vlug verschillende procedures.

De periode voor de Deep Impact missie begin 2005 zag ik een mail met een oproep tot alle amateurastronomen, om mee te werken aan de Deep Impact missie. De komeet 9p/tempeel 1 zou massaal gevolgd worden ! Dit was een project dat sterk voldeed aan mijn wensen. De website Deep Impact missie (<http://deepimpact.umd.edu/>) gaf vrij veel informatie en daar vond ik ook de link van de CARA-groep in Italië. [3] Ik heb toen grondig de methodiek van de CARA groep bestudeerd en hun procedure en meetmethode overtuigde me zodanig dat ik direct van start wou gaan. Deze meetmethode had een meer diepere wetenschappelijke waarde. Het gaat hier meer bepaald over de Af[ρ]-metingen [2]

Dankzij de hulp van Giovanni Sostero, één van de meest actieve waarnemers van het CARA-team, kon ik vrij snel resultaten boeken. [15]

Wat is nu Af[ρ]



Voor het bestuderen van stof in de coma wordt algemeen de $Af[\rho]$ -waarde genomen die door A' Hearn et al [1] werd geïntroduceerd in 1984.

De $Af[\rho]$ waarde (ook wel $Af[\text{Rho}]$ genoemd) wordt berekend uit de verhouding van de gemeten lichtflux, die we ontvangen van de komeet, en de zonneflux. We kunnen dus schrijven: [1]

$$Af[\rho] = \rho * (2DR/\rho) 2F_{\text{com}}/F_{\text{sun}}$$

The $Af[\rho]$ is het product van de albedo (A), vul (filling) factor (f) van de stofkorrels in het meetvenster en de lineaire straal van het meetdiafragma $[\rho]$ van de komeet.

Waarbij:

- **A** is de albedo (volgens Bond)
- **f** is de vul (filling) factor, dat is hoeveel de poederkorrels het meetvenster vullen
- **ρ** is de straal van de coma verondersteld in de meting, uitgedrukt in cm
- **D** is de geocentric afstand Earth-Comet, uitgedrukt in cm
- **R** is de heliocentric afstand, uitgedrukt in Astronomical Unit
- **F_{com}** is de gemeten komeet licht flux (of flow)
- **F_{sun}** is de zonneflux bij 1 AU

Deze hoeveelheid kan als grootte van een hypothetische stofschijf worden geïnterpreteerd die de zelfde hoeveelheid licht reflecteert zoals die door de stofcoma.

De eenheid wordt over het algemeen gegeven in centimeter of soms in meter. Zo komen we van een helderheidsmeting (magnitude) tot een lineaire waarde die volledig bepaald wordt door de chemische en fysische eigenschappen van de stofcomponent. Men zegt soms ook dat de $Af[\text{Rho}]$ -waarde de stofproductie weergeeft van een komeet veronderstellend dat de totale massa en de albedo gekend zijn. Ik ga hier niet verder op in daar het ons te theoretisch en te ver zou leiden. We kunnen niet zo maar de link leggen tussen $Af[\text{Rho}]$ en de stofproductie.[7] + [8]

Voor- en nadelen even op een rij

We kunnen kometen zowel visueel als met CCD waarnemen. We beschikken momenteel over een gigantische hoeveelheid aan gegevens van visuele komeetwaarnemingen over de eeuwen heen. Tevens is het visueel waarnemen van kometen relatief gemakkelijk te doen en vraagt niet zoveel tijd. Echter zijn deze minder nauwkeurig en afhankelijk van het gebruikte instrument, de geometrie, gebruikte methode, mengsel van gas + stof...[14]

CCD-magnitude fotometrie versus CCD $Af[\rho]$ fotometrie

De CCD magnitude-fotometrie heeft tal van voordelen tov visuele waarnemingen zoals:

- grotere nauwkeurigheid tot 0.1 magn en zelfs beter
- scheiding van stof en gasen door gebruik van optische filters
- berekeningen van fysieke parameters worden mogelijk

nadeilen van de CCD magnitude fotometrie:

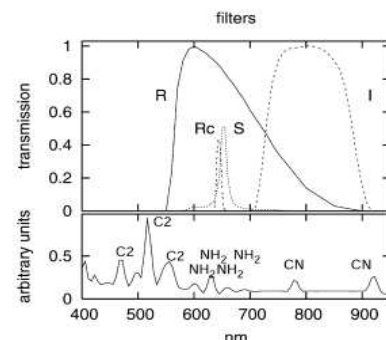
- tijdrovend en niet zo eenvoudig uit te voeren
- afhankelijk van gebruikte instrument
- Vergelijken we dan de $Af[\rho]$ fotometrie
 - grote precisie (10%) (lineair)
 - gemakkelijke berekening fysieke parameters vb: gas/stof verhouding
 - scheiding van gas en stof door gebruik van optische filters
 - automatische correctie van het gebruikte instrumentarium

- meetresultaten hebben een belangrijke wetenschappelijke waarde

nadeilen van $Af[\rho]$ -metingen zijn eerder tijdrovend en vrij technisch.

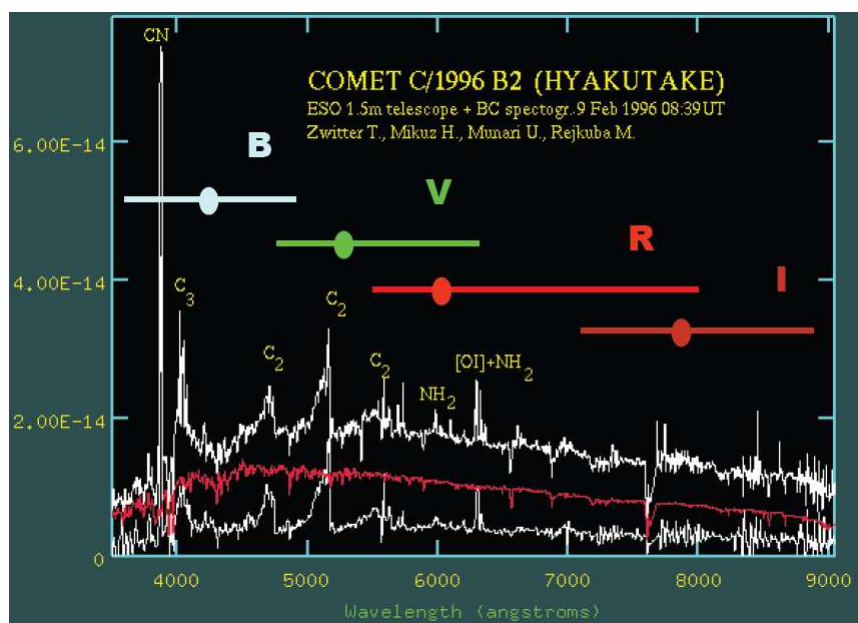
Gebruik van optische filters

Zoals reeds vernoemd zijn we, voor de $Af[\rho]$ methode, enkel geïnteresseerd in het meten van de stofcomponent en dienen we de emissie van de gasen zoveel mogelijk te elimineren. Bekijken we een spectrum van een komeet, zien we dat we de



Figuur 1: Deze figuur geeft een spectrum van een komeet (ref: Lamy, 1986). Daarboven de doorlaatcurves van optische filters. Enkele emissielijnen vallen binnen de R (volle lijn), S (stippellijn), en Rc (dubbel streeplijn) die allen gebruikt worden binnen het CARA-project. [15]

gascomponenten kunnen elimineren door gebruik te maken van optische



Figuur 2: doorlaatband van de BVRI filters (Laurent Jorda-France) [12]

filters. Welke filter dienen we dan te gebruiken? Smalbandfilters zijn het best aangewezen.

Helaas hebben smalbandfilters [6] (vb: 647 nm met bandbreedte van 10 nm) geen grote efficiëntie bij gebruik op amateur telescopen (lees: kleinere opening) en de minder goede waarnemingsomstandigheden.

We zouden lange belichtingstijden moeten gebruiken en daar een komeet een bewegend object is, verschillend van de siderische beweging, zouden we ook nog moeten volgen op de komeet zelf, wat extra moeilijk wordt. Vandaar dat de amateur CCD-komeetfotometrie gebruik maakt van dezelfde filters als bij CCD-fotometrie van variabelen. Meer bepaald de UBVRi (Cousins-Bessel), deze filters zijn betaalbaar en laten voldoende licht door om toe te passen op de amateur telescopen. We gebruiken uiteindelijk enkel de R, I (veel minder gascontaminatie) en soms de V-filter (Johnson).

Figuur 2 laat een duidelijk beeld zien van de spectra van verschillende filters en de emissies van een komeet.

Keuze van de referentiesternen

De professionele astronomen gebruiken de absolute methode, met gecalibreerde referentiesternen zoals de Landolt-reeks. Echter kan men deze enkel gebruiken bij fotometrische hemel en zijn zeer beperkt.

Binnen de CARA groep gaan we enkel gebruik maken van de Tycho-Main en/of de Hipparcos catalogus.

Daar we nauwelijks over een fotometrische hemel beschikken en ook af te rekenen hebben met de extinctie, gebruiken we, indien mogelijk, sterren binnen 1-3° van de komeet in kwestie. Daar het gereflecteerde licht van komeet het licht van onze zon is, gebruiken we best sterren met quasi hetzelfde spectrum als onze zon. M.a.w. met een B-V van ongeveer 0.68. In de regel laten we sterren toe met een B-V index tussen 0.5 en 0.7. Eveneens kiezen we referentiesternen met een zo laag mogelijke error B-V (lieft < 0.1). Met deze tips in het achterhoofd zal het resultaat van onze meting nauwkeuriger zijn. Met een planetariumprogramma kan de keuze snel opgezocht worden. De CARA-project groep heeft echter een zeer handige software-tool ontwikkeld die gratis te downloaden is van www.cara-project.org. Meer over softwaretools later in dit artikel.

Hoe wordt Af[p] gemeten?

We gebruiken zoals reeds gezegd, de differentiële meetmethode. We hebben dus opname nodig van de komeet en minimum 2 referentiesternen. Ideaal is dat de komeet en de referentiesternen in hetzelfde beeldveld liggen. Dit is helaas niet altijd mogelijk.

We dienen dus wat voorbereiding te maken: Vooreerst bepalen we op welke coördinaten de komeet op een bepaald waarnemingsuur zich bevindt. Deze coördinaten dienen we ook te gebruiken om na te gaan waar mogelijk bruikbare referentiesternen zich

bevinden.

Zoals hierboven reeds vermeld dient de referentiester aan bepaalde voorwaarden te voldoen:

- binnen 1° t.o.v. de komeet
- B-V index tussen 0.5 .. 0.7
- Voorkeur gaat naar Hipparcos, indien niet mogelijk nemen we de TYCHO-MAIN catalogoog
- Error B-V < 0.1
- Een goede hulp is onderstaande link: je dient enkel de coördinaten (RA en DEC) in te vullen in het daarvoor voorziene veld en je krijgt de correcte lijst. <http://tinyurl.com/luvr37> Hoe deze pagina gebruiken vindt U hier: <http://tinyurl.com/ycnhd5>

Instrumentarium

Het minimum instrumentarium wat men nodig heeft:

- Telescoop met voldoende opening om zwakke kometen met voldoende signaal/ruis te kunnen meten.
- Montering met volgmotor
- CCD camera met instelbare temperatuurregeling en lineaire responscurve
- R,I of V filter uit de UBVRi-reeks
- Software voor beeldbewerking, datareductie (fits-bestanden)

Af[p] procedure

Bekijken we even de procedure die de leden van CARA, en ook ikzelf toepassen.

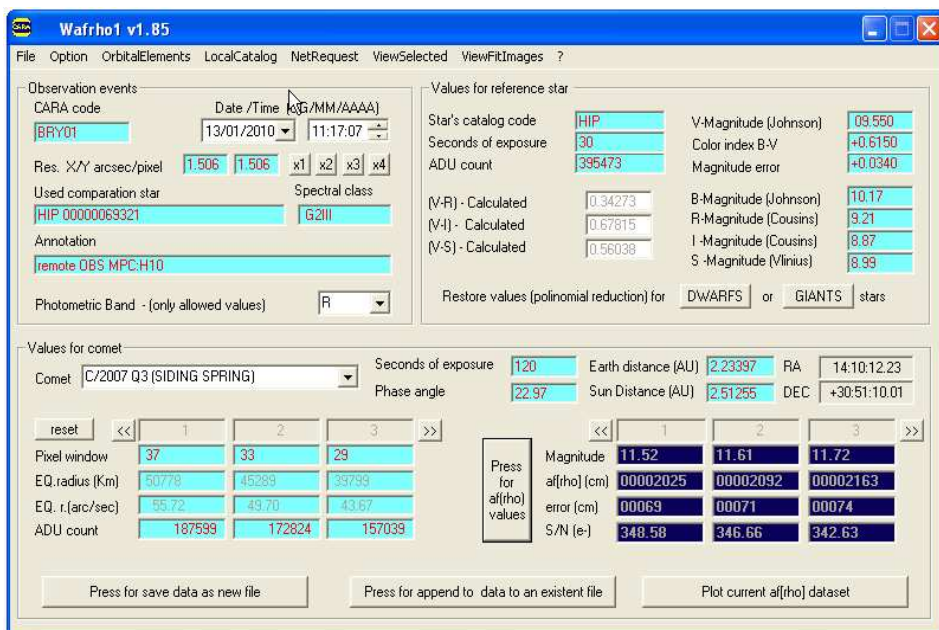
1. Nemen van beelden van de komeet met CCD-camera en filter en met een fotometrische hemel. Met fotometrische hemel bedoelen we een wolkenvrije hemel.

- enkele tips:

o belichtingstijd moet zodanig gekozen worden dat er geen beweging merkbaar is van de komeet (in de regel max. 2 pixels verschuiving). Hiervoor dient men rekening te houden met de pixelresolutie van de combinatie: optiek en CCD en de beweging aan de hemel van de komeet.

o De bekomen ADU moet in het lineaire deel van de CCD-chip vallen. M.a.w. zeker geen verzadiging en toch voldoende signaal/ruisverhouding. We nemen in de regel ongeveer een 10-tal beelden of zelfs meer voor zwakke kometen

2. Nemen van beelden van de referentiesternen (min. 2)



a. Belichtingstijd zodanig kiezen dat er geen verzadiging van de CCD optreed. In de regel nemen we ongeveer de helft van de max. ADU.

3. Goede flatfieldbeelden en darkframes zijn uiterst belangrijk ! Dus neem steeds flatfieldbeelden na elke opname .
4. Toepassen van datareductie. Maw stacken van de beelden (median) met toepassing van dark- en flatfields. Stack gebeurt op de komeet zelf om de beweging van de komeet te compenseren. De zwakke sterstrepen vormen geen probleem.
5. Om de berekening uit te voeren maken gebruik van de Winafrho-software. Deze software is gratis te downloaden, wel onder bepaalde condities: Je dient geregistreerd te zijn bij www.cara-project.org, als voorwaarde voor het gratis gebruik dien je steeds de bron te vermelden bij elke publicatie van afrho-resultaten. Een uitgebreide handleiding van de Winafrho-software is beschikbaar in pdf-formaat.

De ganse gebruikersprocedure ga ik in dit artikel niet verder uiteenzetten. De meegeleverde handleiding is voldoende duidelijk. Voor het gebruik van de winafrho-software 1.85 is ook een Nederlandstalige presentatie beschikbaar op

<http://tinyurl.com/c7t6cp>

Af[ρ] data

(=optische centrum) [13] . Het zijn vooral professionele astronomen die deze data gebruiken voor verdere



Figuur 4: plot van af[Rho]waarden i.f.v. het meetdiafragma (afstand van de kern in km)

De verkregen data, gegenereerd door Winafrho-software, wordt in excel-formaat gepresenteerd. Deze bestanden worden op de CARA-website via upload ter beschikking gesteld voor meer diepgaande analyse. Figuur 4 geeft een beeld van een plot van de Af[Rho] waarden verkregen uit één observatie. Het geeft de Af[Rho] waarde weer i.f.v. het meetdiafragma (afstand van de komeetkern). M.a.w. het radiale profiel: dit is de evolutie van het signaal van onze CCD-camera i.f.v. de afstand (ρ) tot de kern

studie.

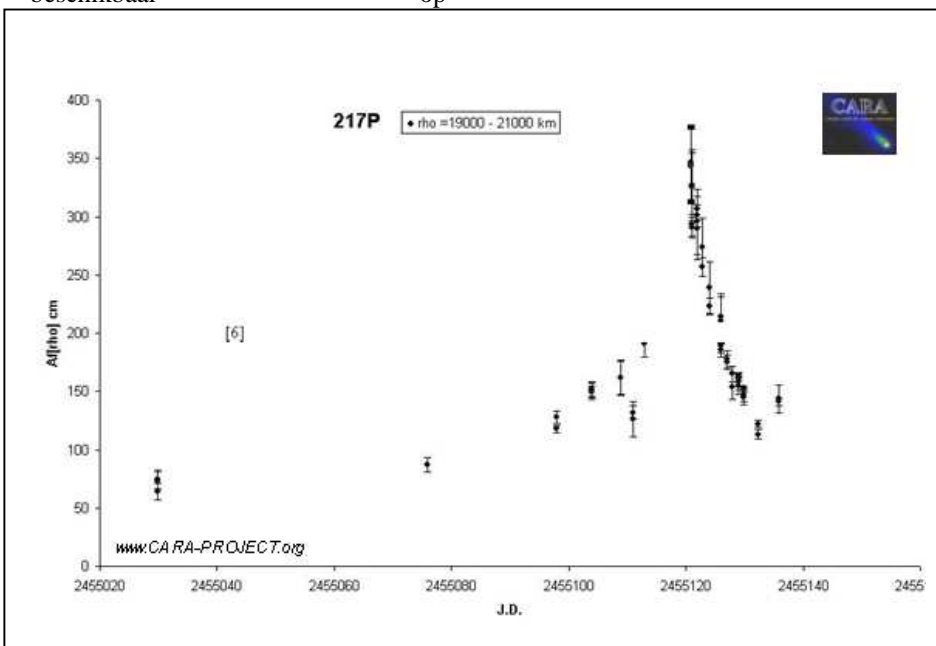
De Af[ρ] geeft een beeld van de activiteit van de komeet i.f.v. de tijd, heliocentrische afstand enz.... Zoals hieronder een grafiek (fig.5) wordt weergegeven van alle data die door mezelf en enkele CARA-leden vergaard zijn. De grafiek geeft een beeld van observaties van de komeet 217P/LINEAR met een meetvenster gelegen tussen 19000 en 21000km t.o.v. de komeet. De uitbarsting van deze komeet is duidelijk merkbaar. De magnitudesprong van 1,5 was merkbaar terwijl de Af[Rho] waarden een sprong van ongeveer 300 cm kende.

Andere meetmethodieken

Buiten de Af[Rho] procedure zijn er uiteraard nog verschillende meetmethodieken

Multi-diafragma - FOCASII

Om aan het nadeel van de juiste bepaling van de comadiameter tegemoet te komen, heeft een Spaanse groep van amateurastronomen, meer bepaald de leden van de mailinglijst Cometas_Obs, een methode ontwikkeld die met vaste diafragma's (meetvensters) werkt. Zij gebruiken meer bepaald vaste meetvensters tussen 10 en 60 boogseconden zonder rekening te houden met de helio- en geocentrische afstand van de komeet. Dit in tegenstelling met de Af[Rho] procedure. M.a.w. ruwe data waarmee



Figuur 5: Af[Rho] van komeet 217P/LINEAR – G.A. Milani - CARA-Project.org

de gebruiker van deze data nog alle wegen mee kan bewandelen. Als referentiesternen gebruiken ze enkel de sterren uit de USNO-A2.0 catalogoog en wel in de R-band. Zij gebruiken hun FOCASII software [16] samen met Astrometrica [11]. Een zeer goede software om astrometrie toe te passen op kometen, asteroïden enz... Het is zeer nuttig om ook astrometrie toe te passen op de beelden die je dan toch al hebt genomen. De rapporten voor MPEC worden automatisch gegenereerd en vanuit de software Astrometrica verzonden. Voor je rapporten naar MPEC kan verzenden dien je wel eerst een observatorium-code te bekomen – meer hierover op de MPEC-website. FOCAS-II gebruikt de log-files van Astrometrica om de magnitudemetingen met vaste meetvensters te bepalen. [16] Je verkrijgt dan als het ware de magnitudemetingen volgens de Spaanse vaste diafragma-methode en de astrometrische meetgegevens. Deze methode is eenvoudiger en risico op fouten is veel kleiner, ook dienen er geen filters gebruikt te worden. Reden hiervoor is dat men gebruik maakt van de USNO-2.0A catalogoog met de R-magnitude van de sterren. Dit komt sterk overeen met de spectrale gevoeligheid van de huidige gebruikte CCD-camera's. Deze methode maakt het daarom heel erg geschikt voor de amateur-astronomen. [18]

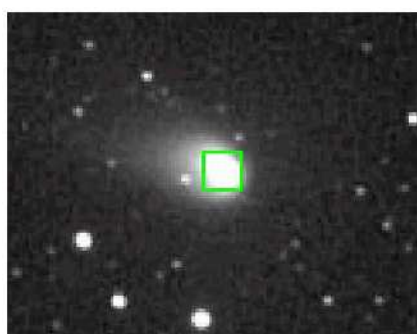
Meer info over FOCASII vind je op <http://www.astrosurf.com/cometas-obs>

Slotwoord:

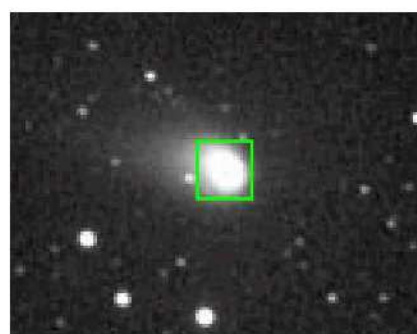
Is dit artikel volledig ? Helemaal niet ! Er zijn nog tal van meetmethoden en procedures gangbaar met elk zijn voor- en nadelen. Over dit onderwerp zal nog menig inkt op papier vloeien !

Referenties + literatuur:

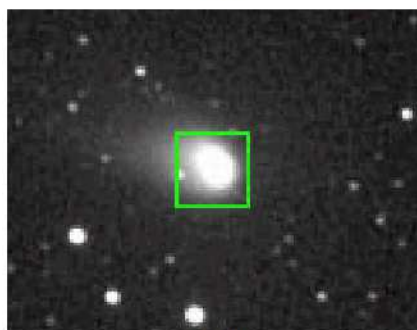
- [1] – A'Hearn et al , (AJ89, 579, 1984)
 [2]Aperture Photometry of Cometary Comae using CCD-camera by Gianantonio Milani – university of Padua - Italy.
 [3] <http://www.cara-project.org>
 [4] Composition of Cometary Volatiles (Bocklée_morvan et all (COMETS II)
 [5]Spectroscopy of fragments Species in the Coma (Feldman et all.) (COMETSII)



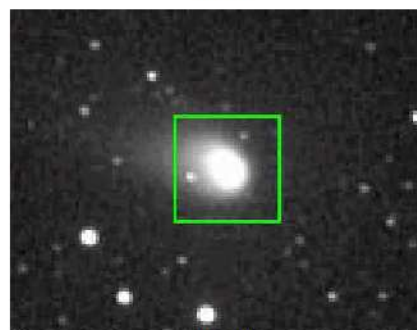
20x20



30x30



40x40



60x60

Multi-aperture fotometrie met Astrometrica en FOCASII software

FOCAS-II COD B96 CON BRIXIIS observatory - B-9150 Kruikebe, Belgium CATALOG: USNO A2.0 / CMC-14 - BAND: R											
10x10 20x20 30x30 40x40 50x50 60x60 SNR SB											
COD	DATE	TIME	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	N	FWHM	CAT
29P	01/03/2010	19:48:26	14.79	13.76	13.13	12.71	12.40	12.17	9.7	16.4	B96
29P	01/03/2010	19:48:26*	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	15	3.1	CMC
29P	01/03/2010	19:46:31	14.81	13.76	13.15	12.72	12.41	12.18	9.2	16.4	B96
29P	01/03/2010	19:46:31*	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	8	3.1	CMC
29P	04/03/2010	19:04:09	15.03	13.95	13.33	12.90	12.59	12.37	6.1	16.6	B96
29P	04/03/2010	19:04:09*	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	8	3.0	CMC
29P	07/03/2010	20:57:14	15.29	14.15	13.51	13.07	12.74	12.50	4.8	17.6	B96
29P	07/03/2010	20:57:14*	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	6	3.2	CMC
29P	10/03/2010	20:28:40	15.43	14.33	13.69	13.25	12.94	12.70	5.7	16.6	B96
29P	10/03/2010	20:28:40*	0.06	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	5	4.6	CMC
29P	09/03/2010	20:14:57	15.42	14.32	13.68	13.26	12.96	12.74	6.0	17.1	B96
29P	09/03/2010	20:14:57*	0.05	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	7	4.3	CMC

Data verkregen door FOCAS II – multi-aperture photometry software

- [6]Photometry and Imaging Using Narrowband Filters – Schleicher and Farnham (COMETSII)
 [7]Motion of cometary Dust (Marco Fulle) (COMETS II)
 [8]Physical Properties of Cometary Dust (Kolokolova et al. (COMETS II)
 [9]Introduction to comets - John C. Brandt and Robert D. Chapman
 [10]The Sky is your Laboratory – Advanced astronomy project for amateurs by Robert K. Buchheim
 [11] Astrometrica by Herbert Raab

- [12] Le Paramètre Af[Rho] – Laurent Jorda Marseille, France
 [13] Measuring the Af[Rho] from Radial Profiles (L.Jorda – LAM Marseille)[14] Cometary photometry: infinite aperture magnitude – Ferrin I.
 [15] Photometry of comet 9P/Tempel 1 during the 2004/2005 approach and the Deep Impact module – http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0608/0608180v1.pdf
 [16] <http://www.astrosurf.com/cometas->

[obs/ArtSoftUtil/Focas/FocasIng.htm](http://obs.ArtSoftUtil/Focas/FocasIng.htm)

[m](#)

[17] Comet Science – Jacques Crovisier and Thérèse Encrenaz

[18]

<http://mira.aavso.org/pipermail/aavso-discussion/2007-October/013472>.

[19] website van de auteur.
<http://www.astronomie.be/erik.bryssinck/>