



# Fotometrie:

15 jaar waarnemingen met UAntwerpen

29 februari 2024

WGAS

T. Alderweireldt

# Overzicht

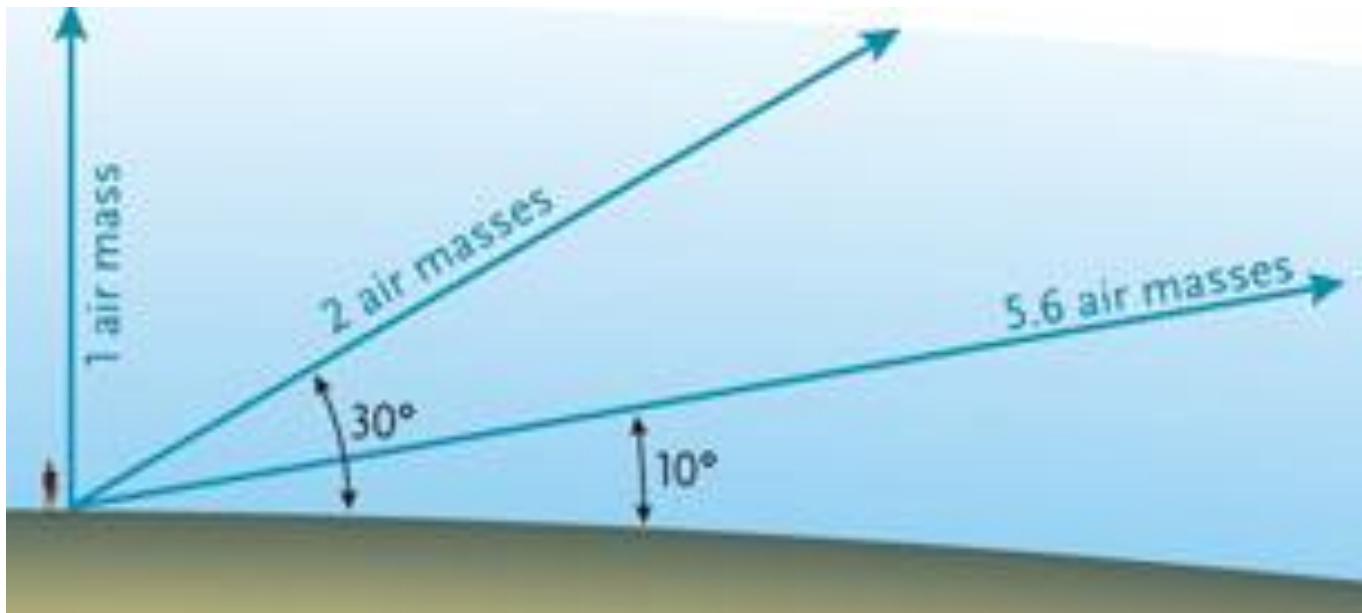
- **Inleiding**
  - Wat is astronomische fotometrie ?
  - Historiek waarnemingsproject met UA
  - Het materiaal : principes van CCD + kijker
  - Maken van de opnames : Maxim DL
  - Reductie van de waarnemingen : Iris of andere
- **Resultaten UA project**
  1. waarnemen lichtcurves planetoïden
  2. variabele sterren (HADS Delta Scuti)
  3. transits van exoplaneten
- **Wat kan er nog meer**
  - standaard fotometrische filters
  - Kleurindexen / Kleur-magnitude diagram -> HR
- **Besluit:**
  - Bijna 100 waarnemingsnachten
  - Veelzijdige introductie studenten fysica

# Relatieve en Absolute fotometrie

- Relatieve (of differentiële) fotometrie:
  - Meest eenvoudige fotometrie
  - Vergelijken van helderheid van 1 variabel doelobject met gekende referentiesternen in zelfde beeldveld
  - Laat reeds enorm veel toepassingen toe
- Absolute (kleur) fotometrie:
  - Bepalen van de exacte magnitude van een doelobject
  - In geijkt fotometrisch systeem (zoals UBVRI Johnson Cousins)
  - Uitgebreide calibratie nodig:
    - Werken met fotometrische standaard filters
    - Atmosferische extinctie / refractie / Rayleigh scattering / ....
    - Kleurcorrectie met Landolt catalogen

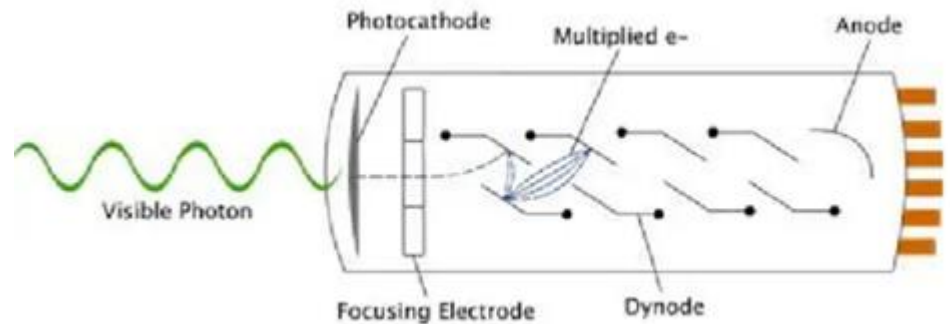
# Air Mass principe

- Effect van de aard-atmosfeer verwijderen:
  - terugrekenen naar een punt boven het zenit in de ruimte
  - Extinctie
  - Magnituden per 'air mass' correctie



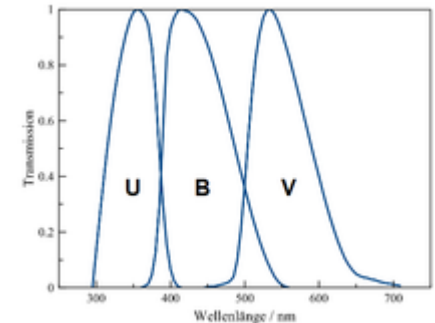
# Historiek

- Onstaan van fotometrie met PMT
  - Photo Multiplier Tubes
  - Werkpaard 1P21
  - Maakte het voor het eerst mogelijk om absolute lichtsterkte te meten
  - Eerder blauwgevoelig
  - Eerste fotometrisch filtersysteem: Johnson UBV banden
- Omslachtige opstelling achter telescoop
  - Slechts 1 object meetbaar via een slit
- Fotografische platen
  - moeilijk meetbaar



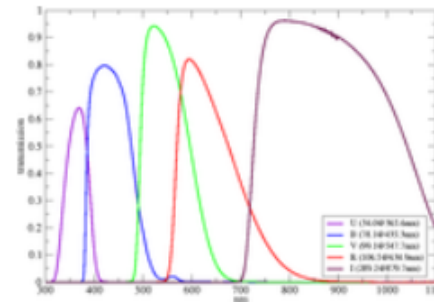
# Eerste fotometrisch systeem

- Johnson Morgan UBV systeem jaren 1950
  - Eerste goed gedefinieerde fotometrische standaard
- Johnson Cousins UBVRI systeem
  - In Jaren 1990 toegevoegd
  - Met opkomst computers konden ook volledige beelden uitgemeten worden veel productiever
- Nieuwste systeem
  - u'g'r'i'z' banden
  - gedefinieerd door Sloan survey
  - weinig verkrijgbare filters



## Johnson-Cousins UBVRI filter curves

filter curves of WiFSIP Johnson Cousins UBVRI filters



Transmission of Johnson-Cousins filters available for WiFSIP

Download ascii data for filters:

- U: Effective central wavelength 365.6nm,
- B: Effective central wavelength 435.3nm,
- V: Effective central wavelength 547.7nm,
- R: Effective central wavelength 634.9nm,
- I: Effective central wavelength 879.7nm, F

# Relatieve fotometrie

- We vergeten voorlopig even alle kleur
- We bekijken wat allemaal mogelijk is door enkel relatieve vergelijking van helderheden in hetzelfde beeld.
- Heel wat projecten zijn reeds mogelijk
  - Eigen zonnestelsel (planetoïden)
  - Nabije variabele sterren
  - Transit van exoplaneten

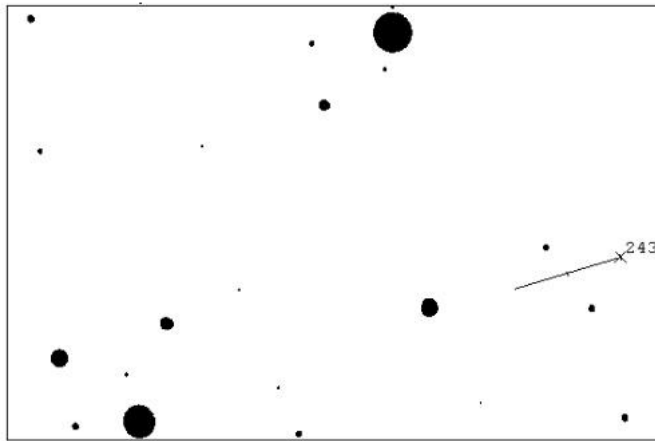
# Waarnemingsprojecten met UA sinds 2007

- Opkomst CCD camera's (digitaal)
  - Periode 1995-2000 (cookbook, ST4, ...)
  - Duidelijk heel hoge gevoeligheid ( $QE > 80 \%$ )
  - Nieuwe mogelijkheden om alle objecten in het beeld te meten: veel meer data dan PMT's
- Vraag van Universiteit Antwerpen in 2007
  - Prof. Tom Theuns
  - Kunnen we bij Urania zo'n oefening met een CCD-camera opstellen voor studenten fysica?
  - Eerste opstelling was dan snel gerealiseerd: meten van lichtcurves heldere planetoïden.

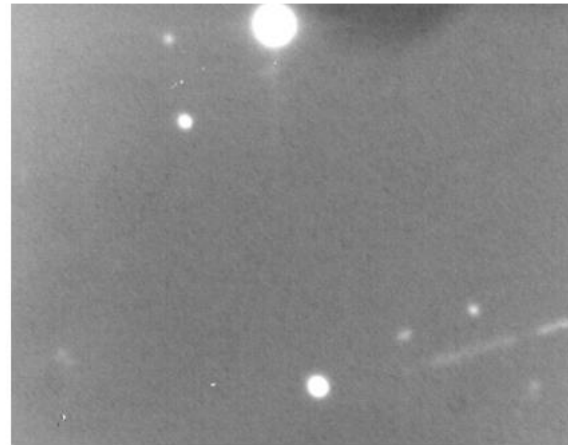


# Eerste resultaten in 2007: 243 Ida

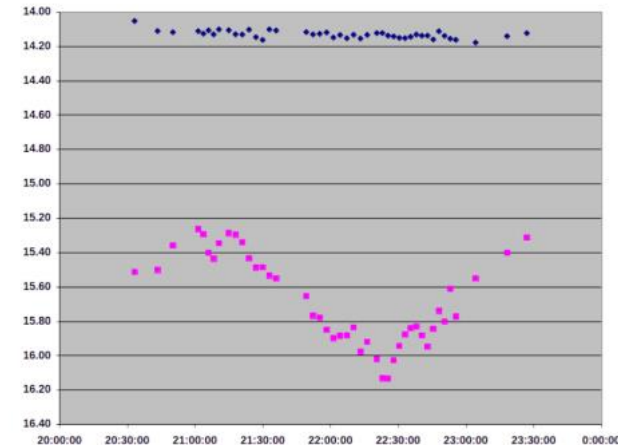
- kijken door het sleutelgat: beeldveld ST7 = 6' x 4' (minder dan 1/4 van de maan)



zoekkaartje



opname



lichtcurve

- heel klein beeldveldje: 765 x 510 pixels
- Ida magnitude 15.4 !
- GSC kataloog beperkt tot +/- 15
- slechts enkele Tycho sterren

(foto Galileo-missie : Ida met maantje Dactyl) --->



# Wat hebben we nodig voor fotometrie ?

- CCD camera
  - Huidige Urania SBIG ST8 XME (Project met UA)
  - Kodak KAF1601E CCD-chip microlensed
  - hoge quantumefficiëntie (tot 85%)
  - 1530 x 1020 pixels van 9  $\mu$
  - volgchip TI 237
  - gekoeld door Peltierelement tot 30° beneden omgevingstemp.
  - minder thermische ruis (dark current)
  - Opnameformaat = FITS (flexible image transport system)
    - dit is een **16-bit** beeldformaat (65536 grijswaarden)
    - ASCII formaat, gemakkelijk verwerkbaar
    - tegenwoordig ook 32-bit
    - Hoge dynamische range



# Thermische ruis en koeling

- CCD halfgeleider chip
  - Elke pixel op de chip telt ladingen op gedurende een zekere belichtingstijd en wordt dan uitgelezen.
  - Gedurende die tijd wordt echter spontaan in de halfgeleider pixels ook 'thermische ruis' opgebouwd
  - Exponentieel effect met temperatuur
    - ⇒ thermische ruis vermindert met de helft om de  $10^{\circ}\text{C}$
    - ⇒ Peltier koeling tot  $30\text{-}40^{\circ}\text{C}$  beneden omgevingstemperatuur
  - Ondanks koeling blijft het altijd nodig voor goed meetbare beelden om steeds een even lang 'belicht' **donker beeld** te nemen (enkel om de ruis te meten) en nadien af te trekken,
- CMOS chips
  - Nieuwere CMOS chips (fotografie) betere ruisonderdrukking
  - Veel minder uitleesruis dan CCD, maar worden toch gekoeld

# Flatfielding

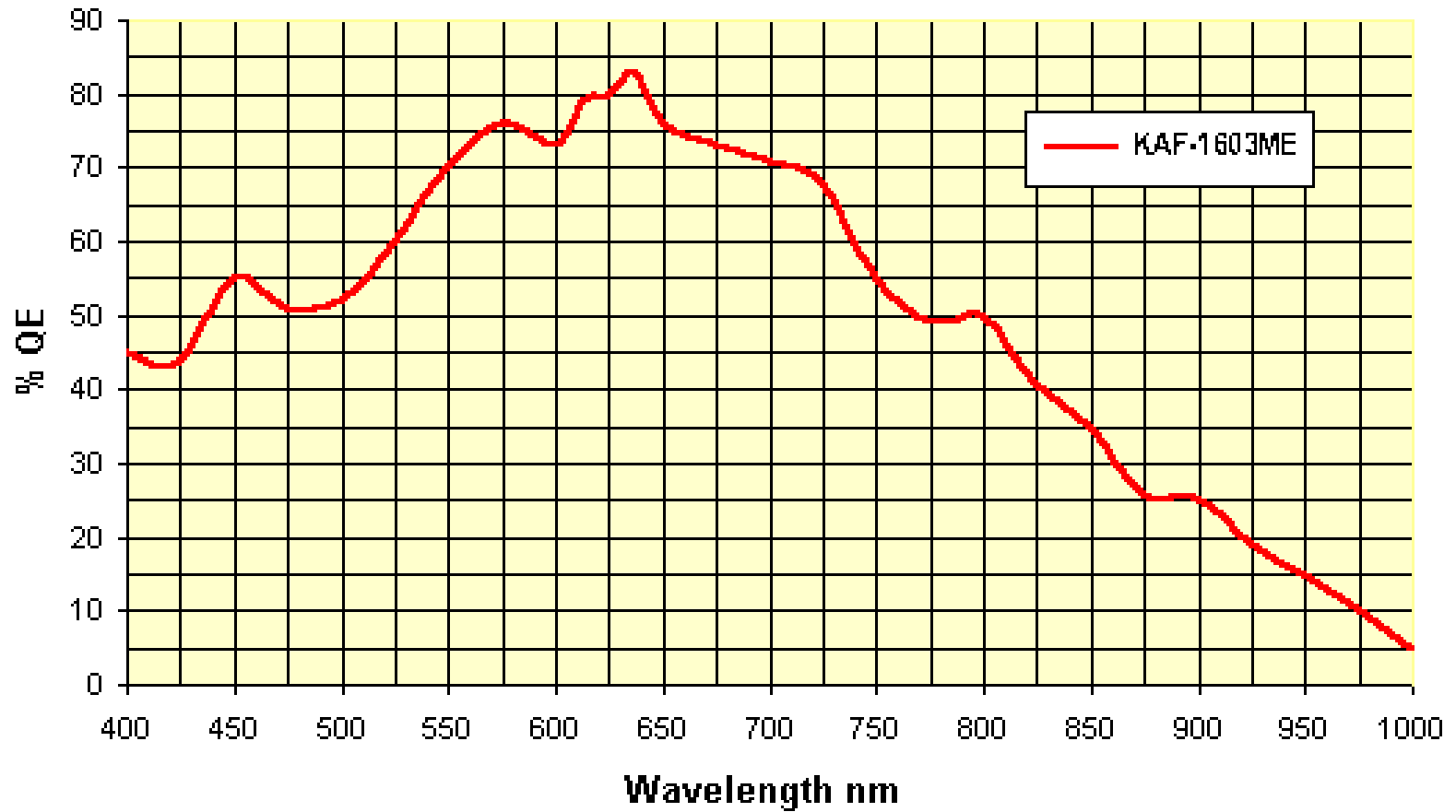
- Correctie van een aantal optische fouten
  - Achtergrond gradient van storend maanlicht of lichtvervuiling
  - Optische effecten in het systeem zoals vignettering (lichtafval in de Cassegrain telescoop naar de randen van het beeld toe)
  - Stof op de spiegels van de kijker
  - Stof op het venster van de detector zelf (geeft onscherpe donkere vlekken of ringen op de achtergrond)
- Flatfield opname:
  - Uniform verlichte witte achtergrond
  - Luminescent paneel voor de kijker
  - Zelfde achtergrondfouten (zonder sterren)
  - Achtergrondfout verwijderen (deling achteraf)



# SBIG ST8 XME CCD camera



## Quantum Efficiency ST-8XME



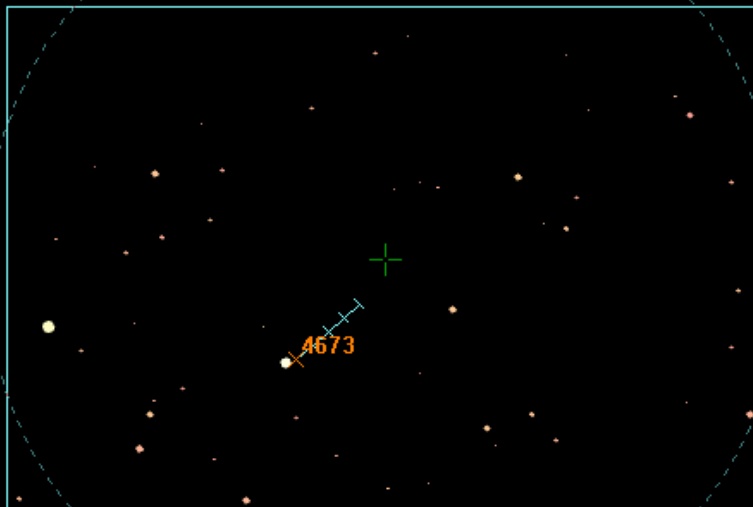
# Automatisch volgen

- Nodig voor wat langere fotometrische belichtingen
  - Typisch voor lichtcurves maken we opnames van 30-120 sec
- CCD camera heeft een 2<sup>e</sup> kleine chip om te volgen
  - Via een gekozen volgster stuurt de camera correctiepulsen naar de montering van de kijker, om de volgster zo goed mogelijk op dezelfde positie te houden
  - Met de hoofdchip starten we ondertussen een reeks van langbelichte opnames om nadien fotometrisch uit te meten.
  - Handig om 2 chips in 1 camera te hebben.
- Er bestaan ook aparte volgcamera's
  - Veel amateurastronomen gebruiken een kleine webcam met kleine aparte volgekijker om met een apart programma (bv PHD2) automatisch te volgen.

Volgchip



Hoofdchip





# Voorbeeld zoekkaartje Guide 9.0

The image shows a screenshot of the GUIDE 8.0 software interface. The main window displays a star field with a search area defined by a dashed circle and a solid rectangle. A small inset window shows a zoomed-in view of the search area. A popup window titled "GUIDE" displays the following information:

**GUIDE**

mag 10.498  
TYC 1336 642  
alt 46.5 az 123.7  
Rise 13 Dec 16:55 GMT [UT]  
Tran 14 Dec 0:41 GMT [UT]  
Sets 14 Dec 8:26 GMT [UT]

Buttons: OK, More info, Next, Display, Center

In the bottom-left corner, there is a legend for the search area:

PI Trail  
X Asteroid

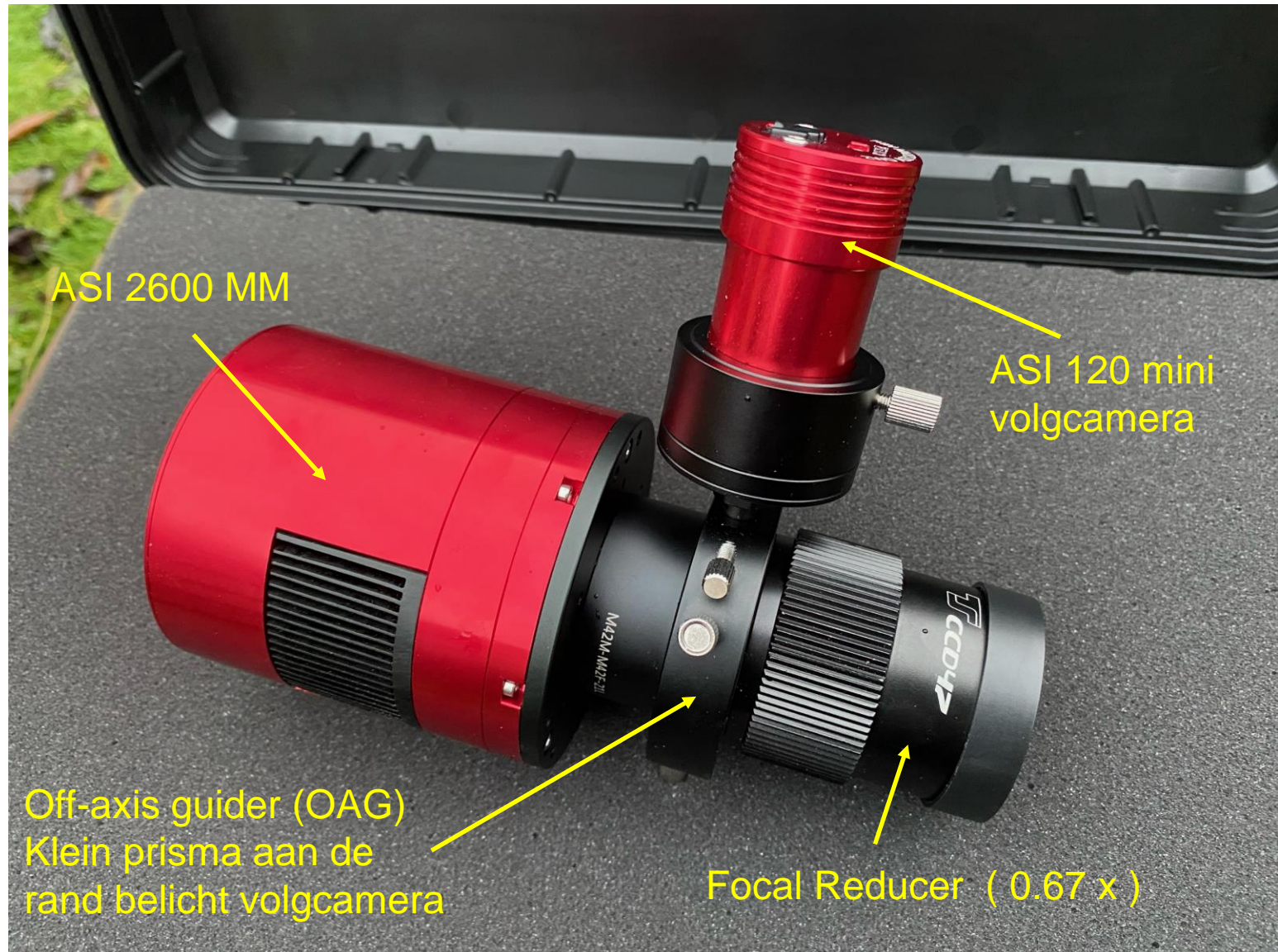
8 ● 12  
9 ● 13  
10 ● 14  
11 ● 15

Coordinates and other data:

06h29m55.1s J2000.0  
+19 02' 46" Gem  
Alt 46.502 Az 123.753  
Level 8: 1 degree  
13 Dec 2009 22:12:20 GMT [UT]

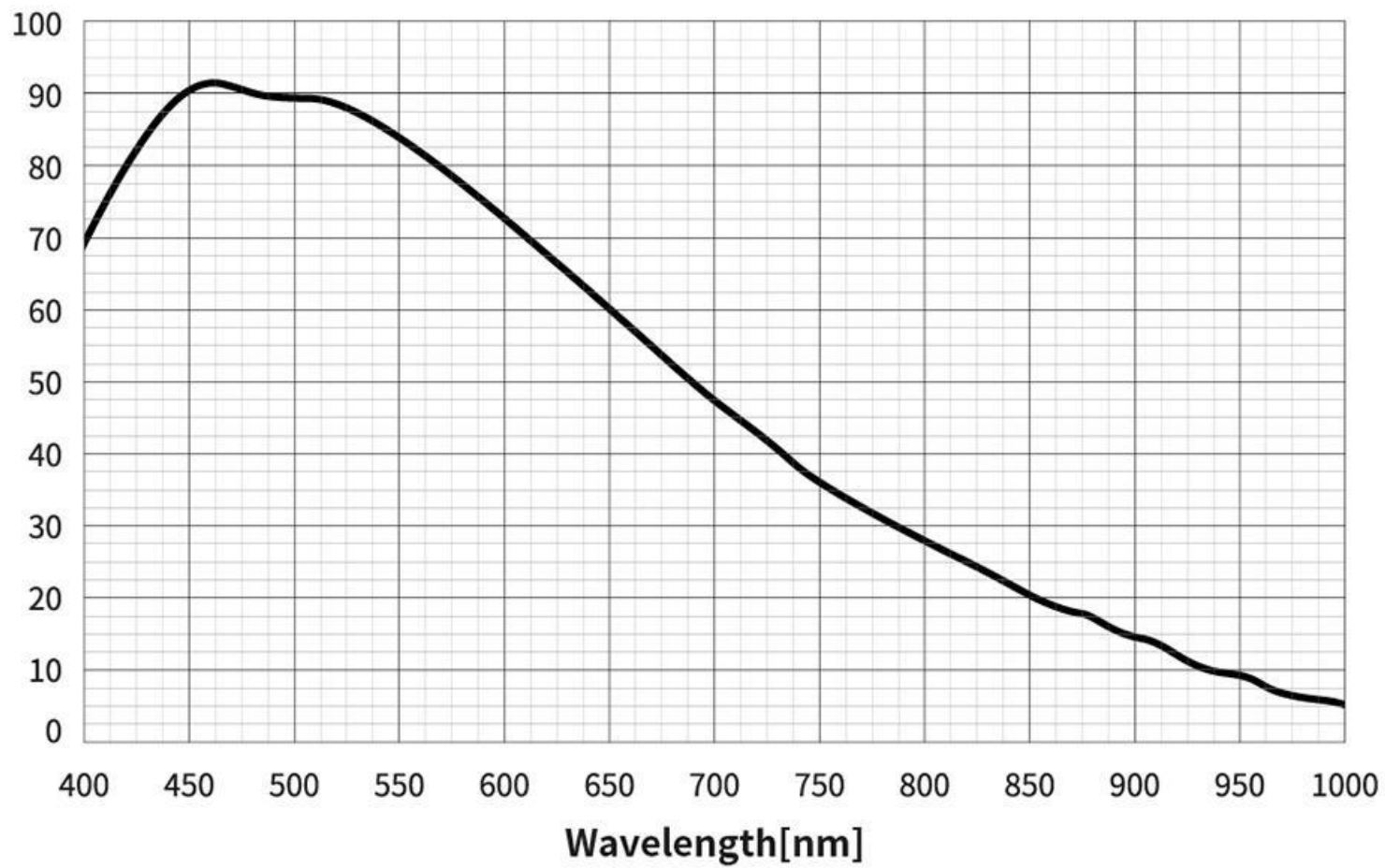
The Windows taskbar at the bottom shows the Start button, several open applications (Microsoft PowerPoint, GUIDE 8.0, ScienceDirect), and the system tray with the time 23:08.

# Nieuwe CMOS camera (ZWO ASI 2600 MM)



QE [%]

— ASI2600MM Pro

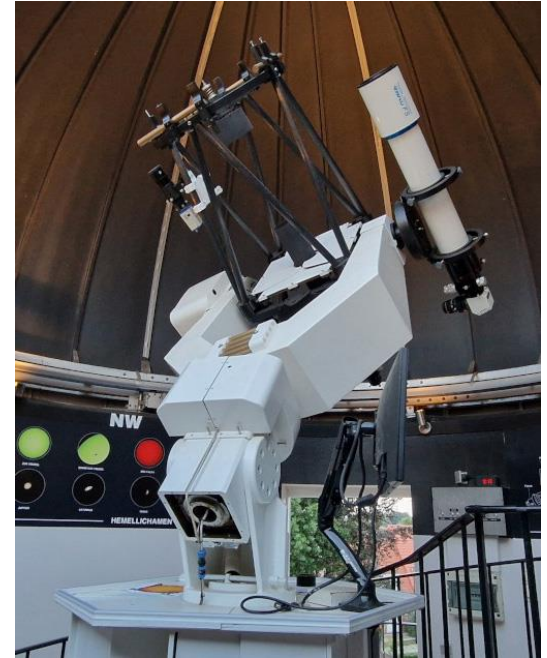


# ZWO ASI 2600 MM camera

- hoofdcamera
  - Veel kleinere pixels : 6248 x 4176 pixels van 3.76  $\mu$
  - best in binning mode (2x2 of 3x3)
  - gekoeld door Peltierelement tot 30° beneden omgevingstemp
  - Focal reducer : 0.67 x
  - Beeldveld is dan 30' x 20' (ipv. 24' x 16' met ST8)
  - Opnames maken kan met NINA / ASI Studio
- Volgcamera (ASI 120MM mini)
  - Volgen in principe met OAG (off-axis guider met prisma)
  - Indien te weinig heldere sterren kan het ook via de volgkijker
  - Apart volgprogramma nodig : PHD2  
(kan vanuit NINA gestuurd worden)

# Telescoop toren Urania

- 40 cm Cassegrain kijker
- Brandpuntsverhouding F/10
- brandpuntsafstand 4000 mm  
(met reducer ~2000 mm)
- Handbediening CB-2 (zie docum.)
- GO TO montering (poolas afstelling is OK!)
  - in principe calibreren op heldere ster in de buurt van target
  - in de winter Aldebaran (Alpha Tauri) of Betelgeuze (Orion)
  - naar de lente toe dikwijls Regulus (Alpha Leonis)
  - dan GOTO met Sky 6 of coördinaten “starhoppen” naar gewenste target
- Flatfield paneel (elektroluminescent)



# Status Warm Room Toren Urania

- Soms erg koude waarnemingsavonden in winter:
  - altijd 10°C kouder dan je verwacht met de koepel open
- Computer op tussenverdieping geplaatst :
  - 1 scherm + klavier boven (installeren en focusseren)
  - 1 scherm + klavier in warm room met KVM switch
  - Maxim-DL5 installatie voor opnames en autoguiding
  - USB-verleng hub boven voor ST8 camera + scherm
  - GOTO mogelijk met 'The Sky 6'  
(nauwkeurigheid is nu beter na recent afstellen poolas)
- CB2-handbediening
  - enkel aan de kijker bedienbaar, nog niet in warm room

# Praktisch opnemen van ruwe CCD beelden

- **Darkframe** : enkele aan begin en einde van reeks
  - thermische ruis (hot pixels) verwijderen
  - dark current daalt exponentieel (halveert per 8°C)
  - even lang belichten als lightframe, temperatuurafhankelijk
- **Lightframe** opnamereeks
  - typisch 30, 60 of 120 sec per beeld
  - indien object te zwak, kunnen beelden opgeteld worden
  - autoguiding moet lopen
- **Flatfield**
  - resterende optische fouten verwijderen, stof op lenzen, ...
  - bij schemering, op wit scherm of mediaanflat
- **Bias** :
  - uitleesruis, zit al in de darkframe
  - mee afgetrokken met 'flat dark' opname

# Verwerking van de resultaten

- Ruwe beelden eerst individueel bewerken

- dark frame aftrekken
- delen door flatfield
- bias of uitleesruis is inbegrepen

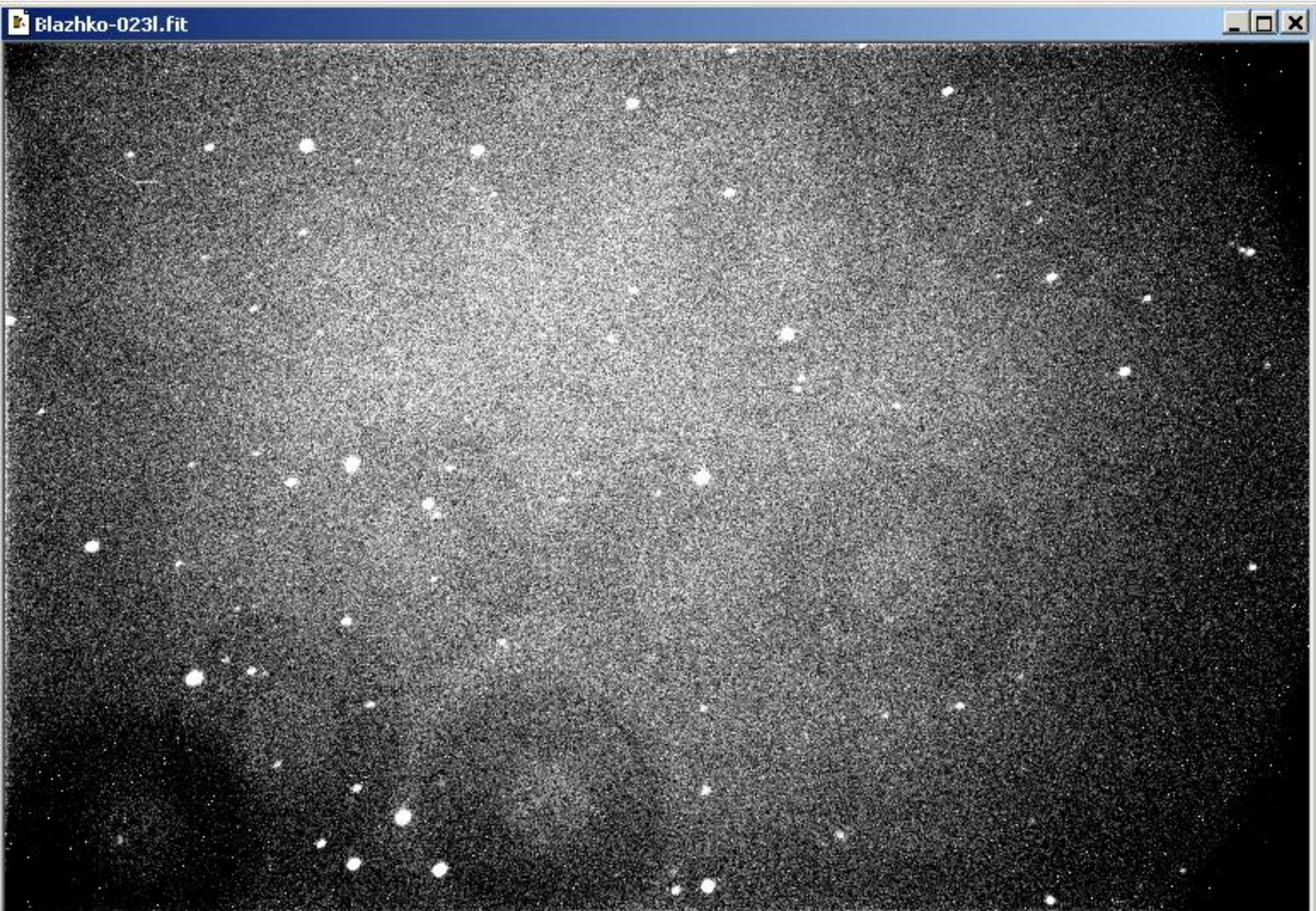
$$\text{Final} = \frac{\text{(Raw - Dark)}}{\text{(Flat - Flatdark)}}$$

- Fotometrisch uitmeten

- omzetten van 'lichtberg' van object naar instrumentele magnitude
- eventueel met fotometrische filters (bv. UBVRI standaard)
- aperture photometry (ringenmodel)
- PSF = point spread functie fitten
- helderheid object vergelijken met goed gekende referentiester (Bv. Tycho 2 stercatalogoog of UCAC 4)
- bij voorkeur twee of meer referentiesternen uitmeten ter controle



# Ruw beeld



# Dark frame



# Flatfield



# Bewerkt beeld







# Omzetten van de beelden in lichtcurves

## – **Uitmeten van de opnames:**

- Na aftrekken van dark frame en deling door flatfield

## – **Metten van het doelobject : planetoïde of ster of andere**

## – **Metten van enkele omliggende referentiesternen**

- Uit gekende stercatalogen (Tycho2 / UCAC / Gaia DR3)
- Mogen zelf niet variabel zijn natuurlijk

## – **Verskil bepalen:**

- Tussen gemeten magnitude van doelobject en gemiddelde van de gekende referentiesternen

## – **Meetmethodes:**

- Aperture fotometrie : ringenmodel rond het object
- PSF-fit : passen van een 'point spread functie'

## – **Programma's zoals Iris kunnen dat automatiseren**

# Aperture Photometry (ringenmodel)

- **Ring 1: Ster**
  - net rondom de lichtvlek van de te meten ster
  - enkele aan begin en einde van reeks

- **Buitenste Ring : Achtergrond**

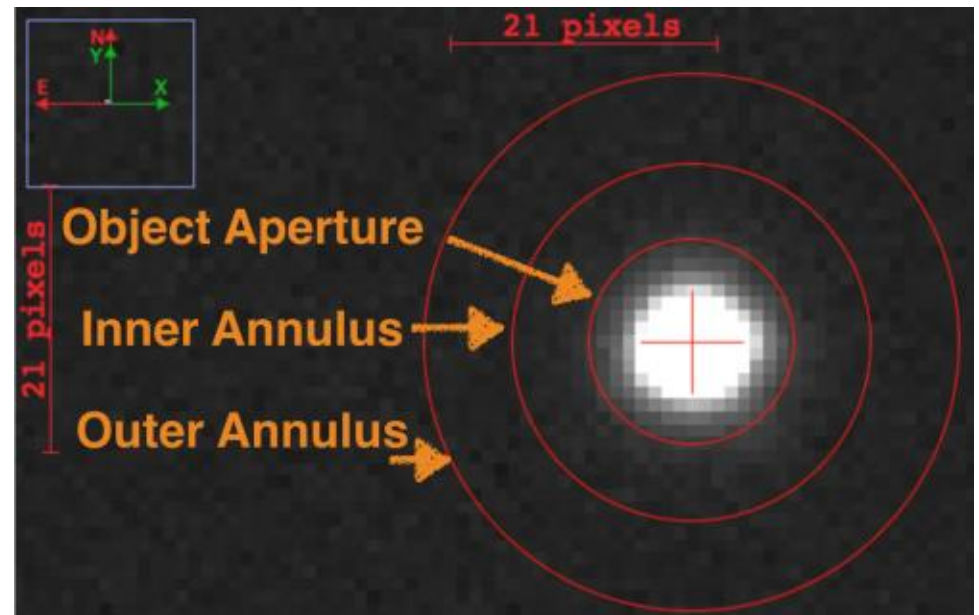
- Nooit helemaal donker
- Gemiddelde achtergrond aftrekken

- **Resultaat:**

- Totale lichtflux ster
- Aantal counts
- Instrumentele magnitude

- **Magnitude:**

- Omzetten van gemeten lichtflux in magnitude (logaritmische schaal)

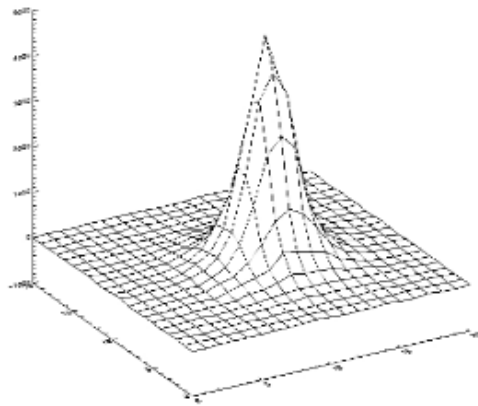




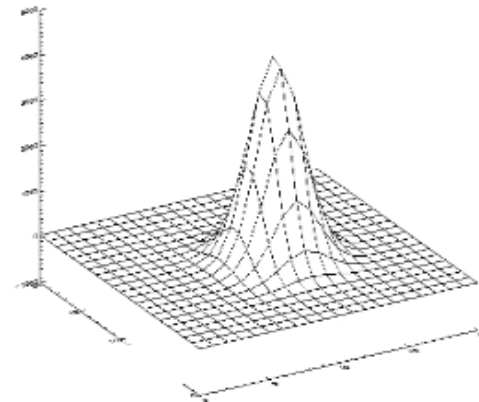
# PSF – fit (Point Spread Function)

wiskundig model met een 2D Gauss profiel

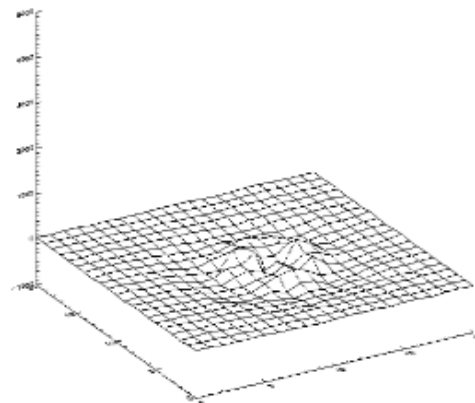
- Zo goed mogelijk passen op vorm van de ster en achtergrond
- Door turbulentie van de atmosfeer is het sterprofiel gaussiaans
- Veel programma's kunnen dat automatiseren (Iris – AstrolmageJ)



Real Star



2-D Gaussian



Difference

# Uitmeten met Iris

## Reductie software

- Vele mogelijkheden
- Iris (Christian Buil) educatief goed :
  - toont alle verwerkingsstappen : dark, flat, bias
  - Heeft een scripttaal voor automatisering
  - Kan dus een hele reeks waarnemingen verwerken
  - Kan een bewegende planetoïde volgen
    - Staan niet stil zoals sterren!
    - ‘Aperture ring’ moet kunnen volgen
    - Je kan de bewegingssnelheid ingeven

# Nu nog meer automatische software (met platesolving)


H:\UA-ALL\UA\_Waarnemingen\2017\UA-170429\s\s99.fit

File Stack Tools View Help

$\alpha$  10 27 33.7 10.459361  $\Sigma$  Solve Save new header

$\delta$  +21 01 10 21.019444

Data range

Histogram:  off

Minimum < 2440 >

Maximum < 3092 >

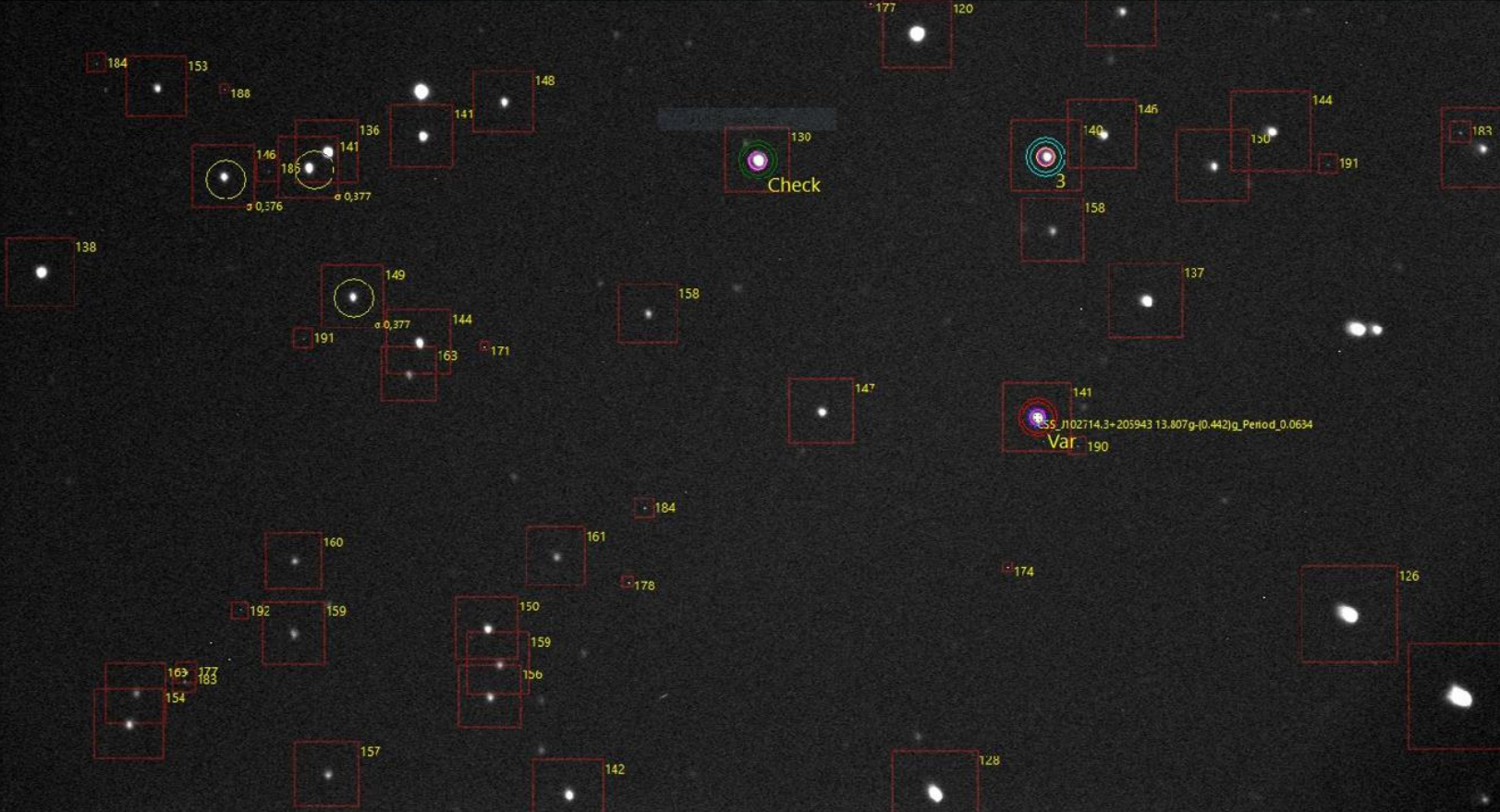
WCS

Inverse wheel

$\uparrow$  -179,90°

F

SIMPLE	=	T
BITPIX	=	16
NAXIS	=	2
NAXIS1	=	1530
NAXIS2	=	1020
MIPS-H1	=	5200
MIPS-LO	=	4000
MIPS-X1	=	0
MIPS-Y1	=	0
MIPS-X2	=	0
MIPS-Y2	=	0
MIPS-BIX	=	1



Position 7:80

# Resultaten 1 : Asteroïden

meten van lichtcurves laat heel wat projecten toe:

- Asteroïden
  - bepaling van rotatieperiode, amplitude en oriëntatie poolas door fitten van ellipsoïde
  - vaststellen of een asteroïde binair is door oplossen van de onregelmatigheden in de lichtcurve
  - bepaling van 3D vorm-model van de asteroïde door deconvolutie van de lichtcurve (M. Kaasalainen)
  - CALL website biedt verschillende interessante targets

<https://minplanobs.org/mpinfo/php/lcdb.php>

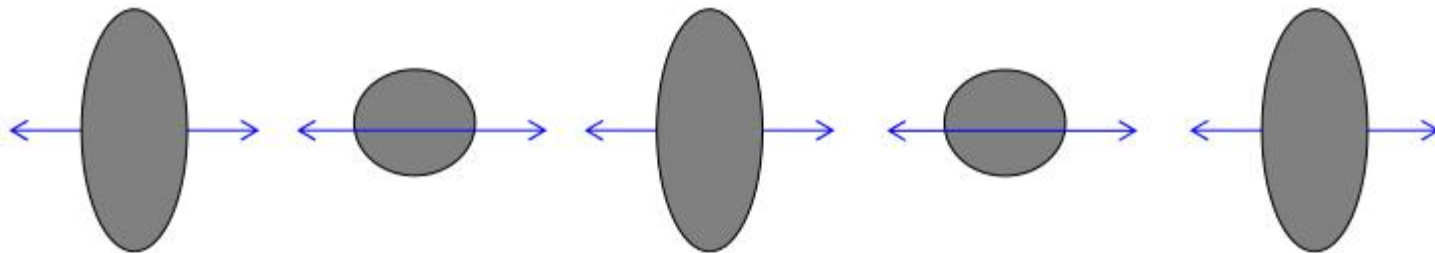
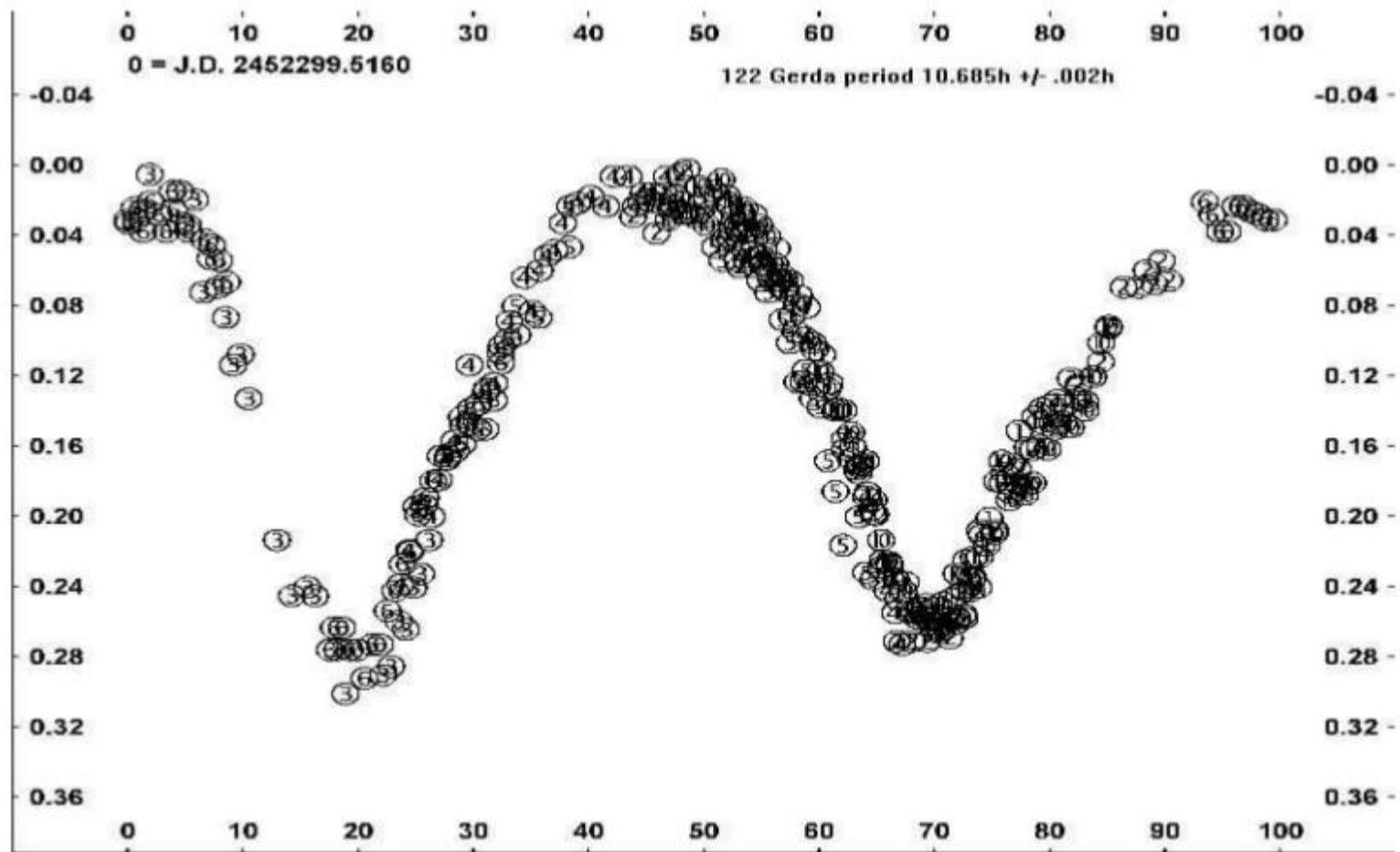
NEAR - 433 Eros



Feb 12 2000 00:45:00

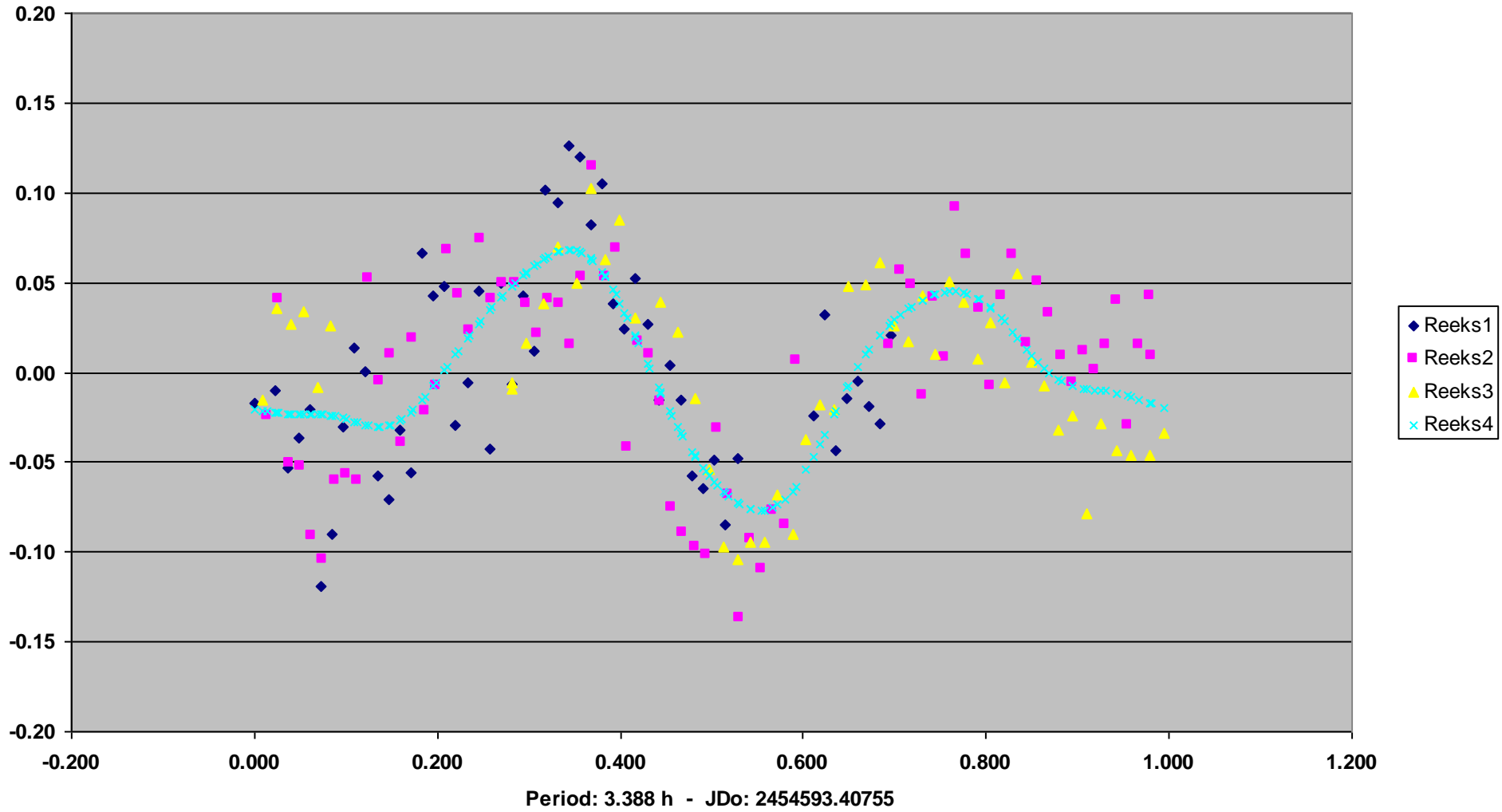
# Lightcurve of asteroid 122 Gerda

Sunflower Observatory 739





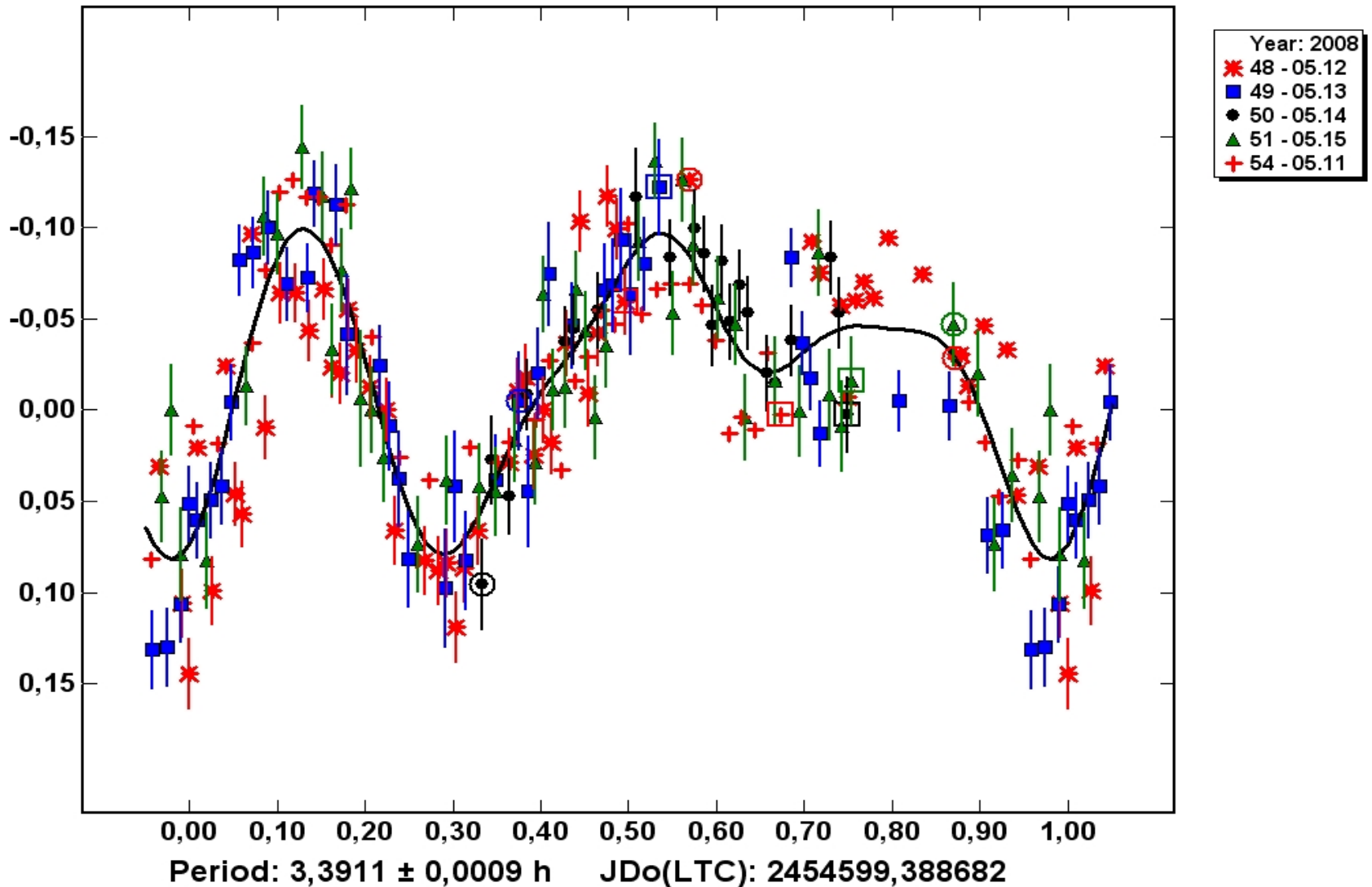
# 5010 Amenemhet - combined plot 6 - 8 - 11 may 2008



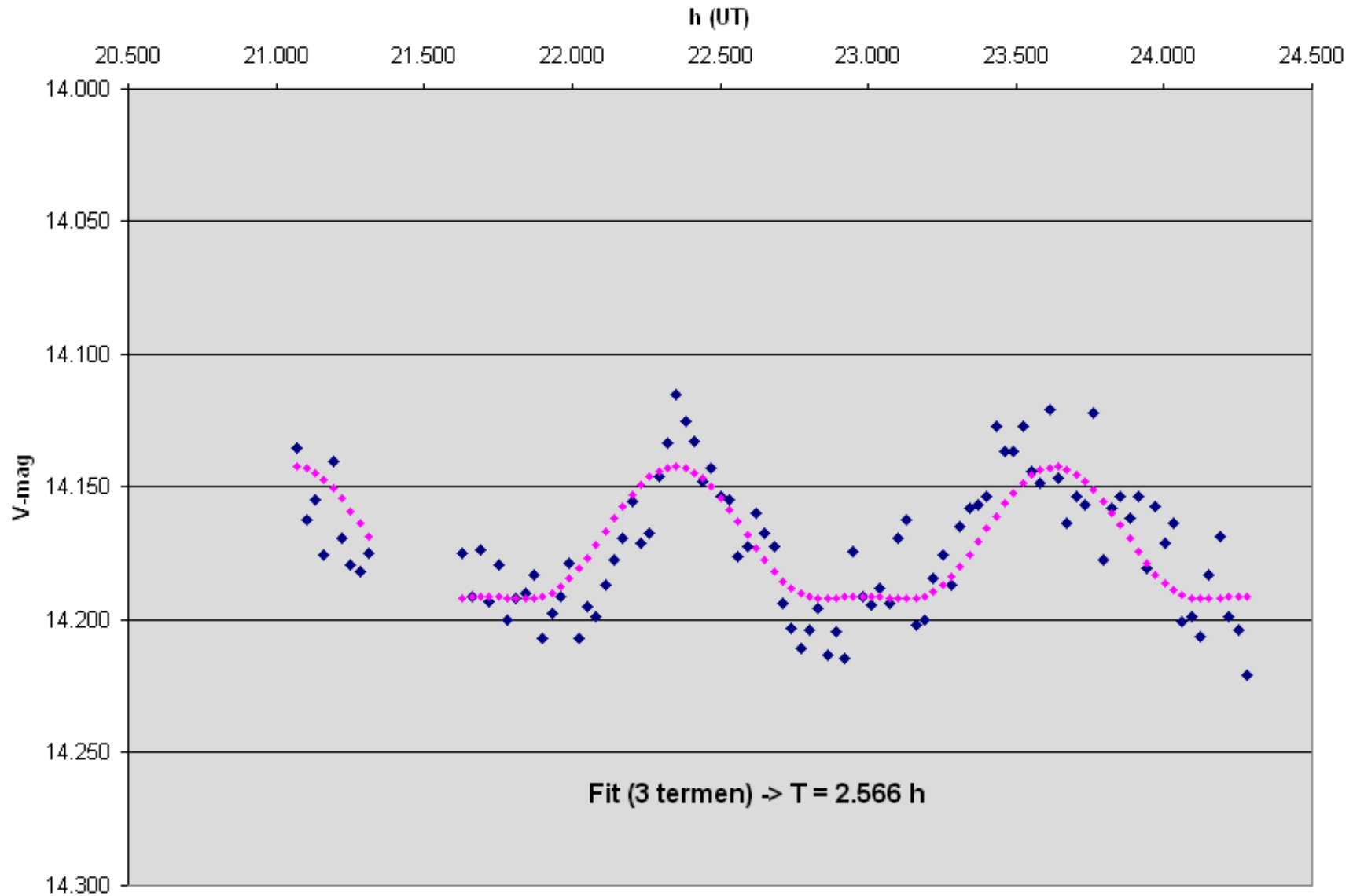


# Resultaat van V.Benicek - Belgrado - 40 cm Meade + AP7

## Phased Plot: 5010 Amenemhet

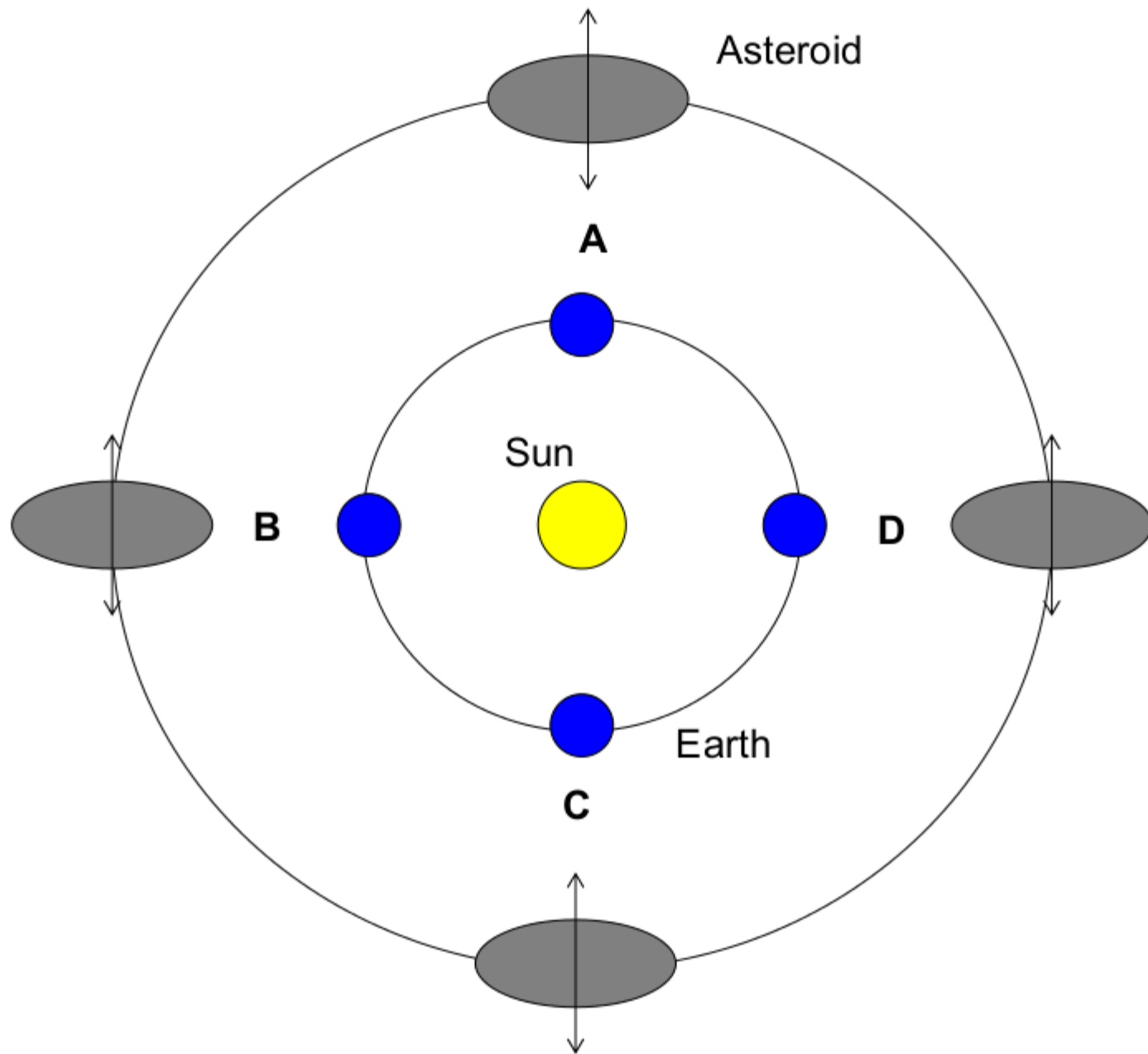


# 1318 Nerina - 09 Apr 2011

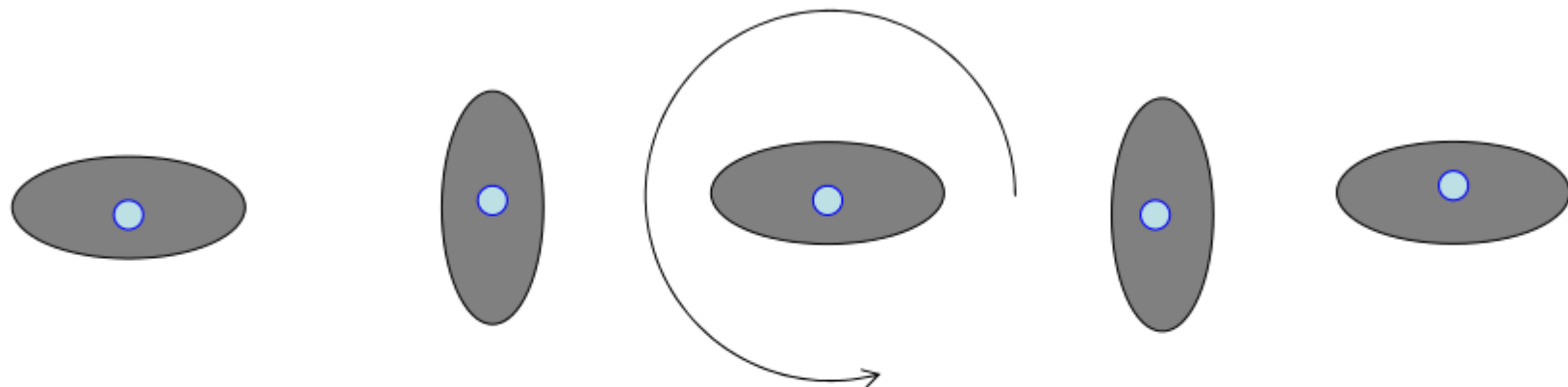


# Voorbeeld stand poolas

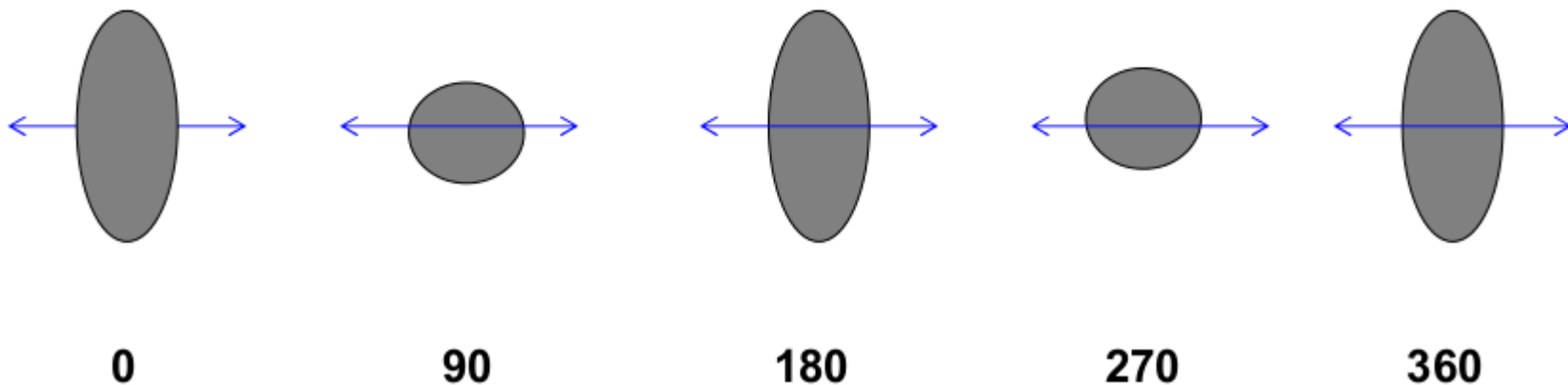
- Hoe roteren asteroiden ?
- In 2013 heel interessant object waargenomen met UA:
  - **22 Kalliope**
    - groot en helder object (magnitude 11-12)
    - rotatieperiode 4.14 h
    - amplitude 0.03 - 0.53 magnituden
    - meermaals waargenomen eind april 2013
    - echter geen detecteerbare lichtvariatie gezien
  - Hoe komt dat ?



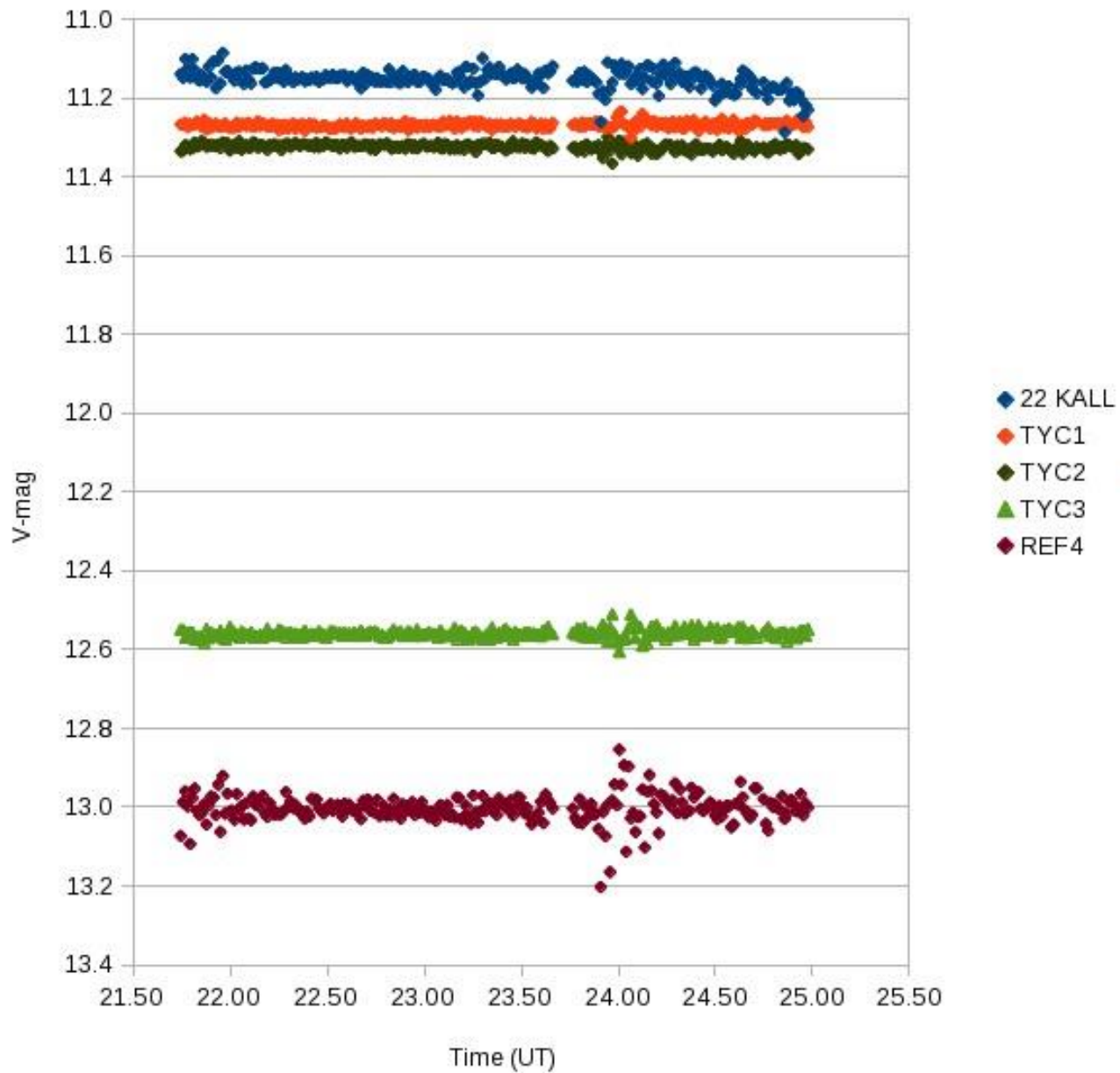
### Rotation of asteroid as seen from A or C



### Rotation of asteroid as seen from B or D



# 22 Kalliope - 20 April 2013



# Voorbeeld inversie lichtcurve

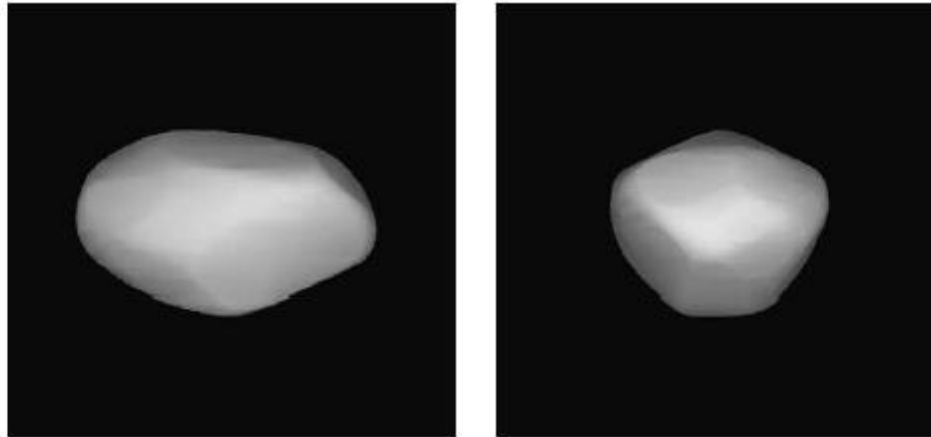
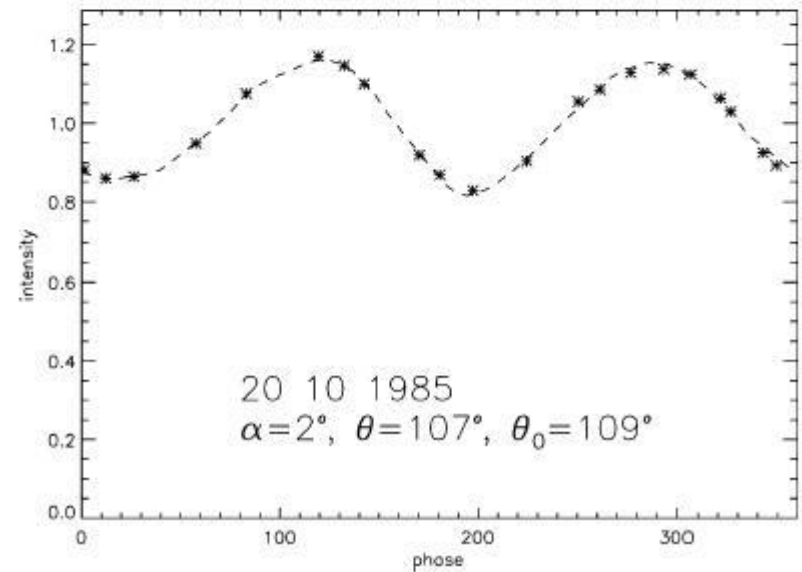
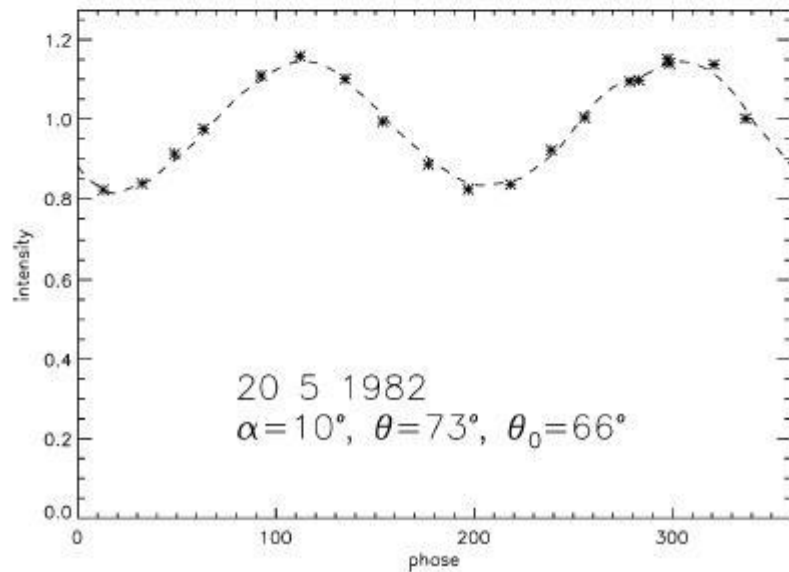


Fig. 35. Shape model of 107 Camilla.



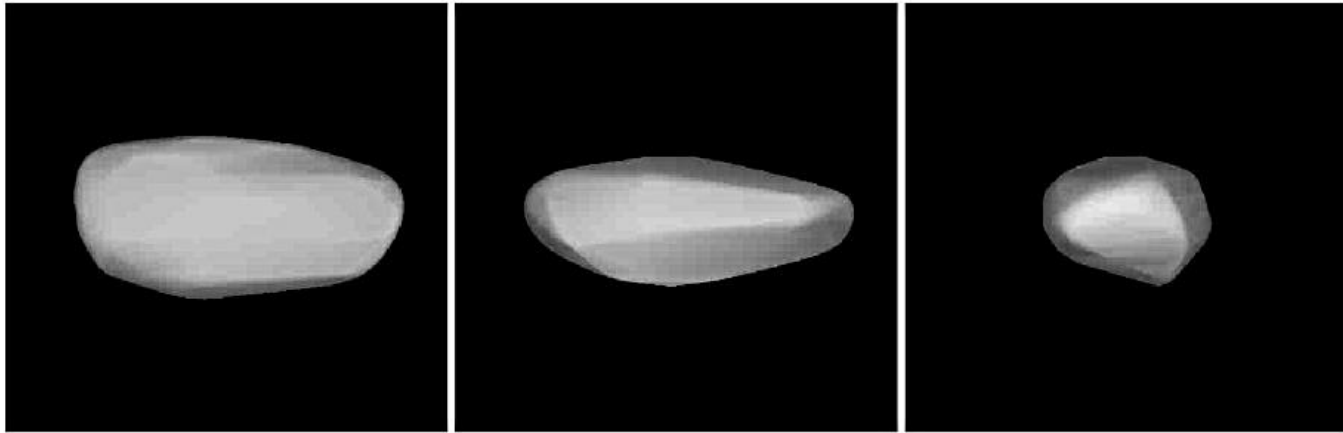
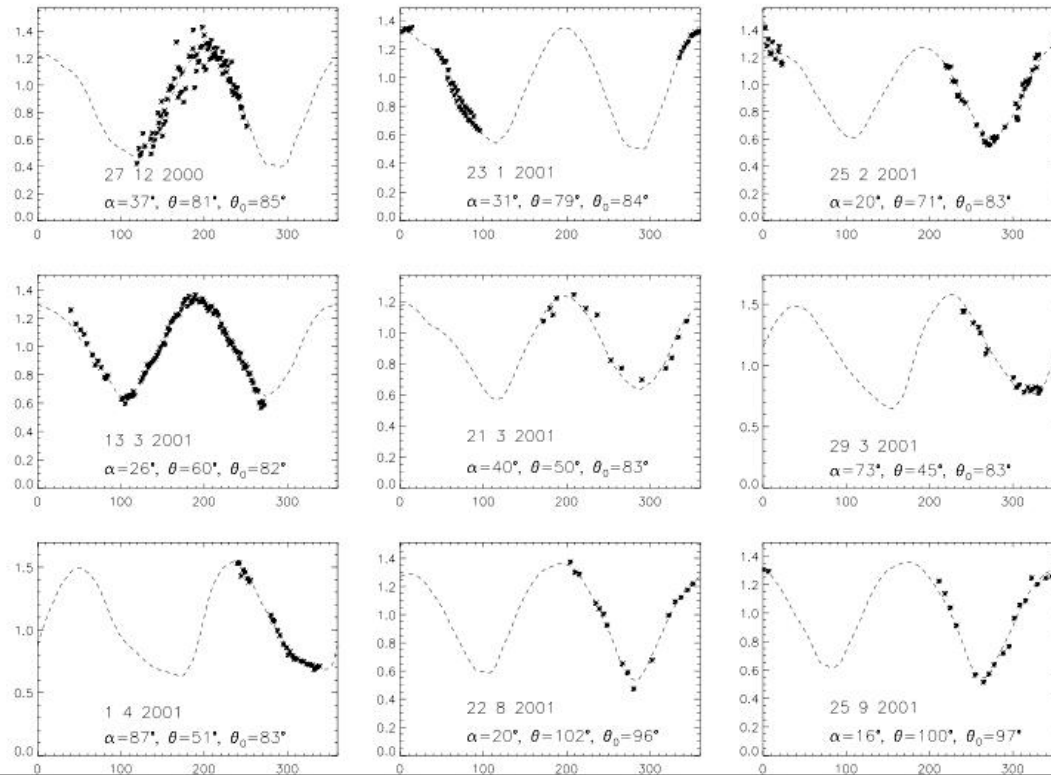
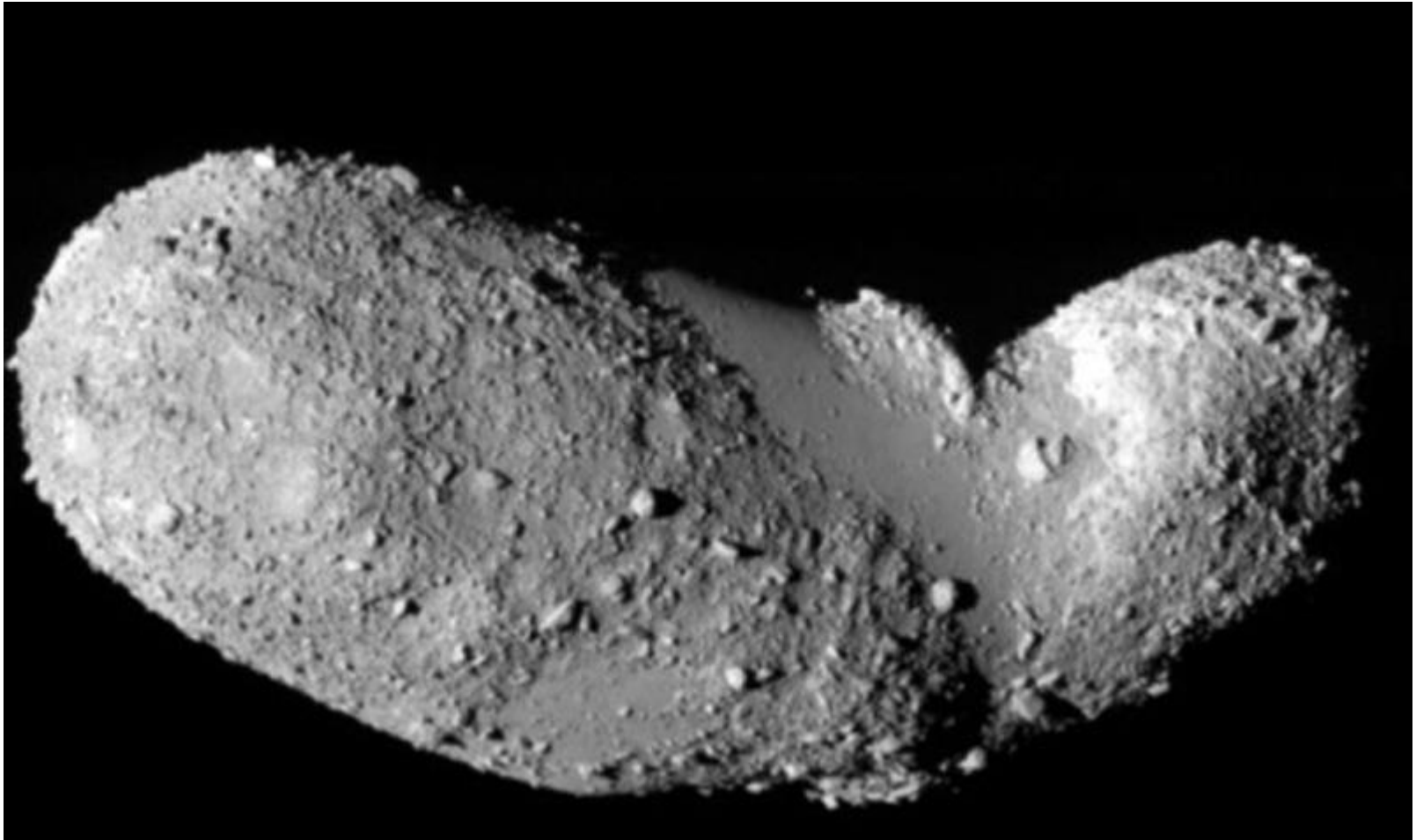


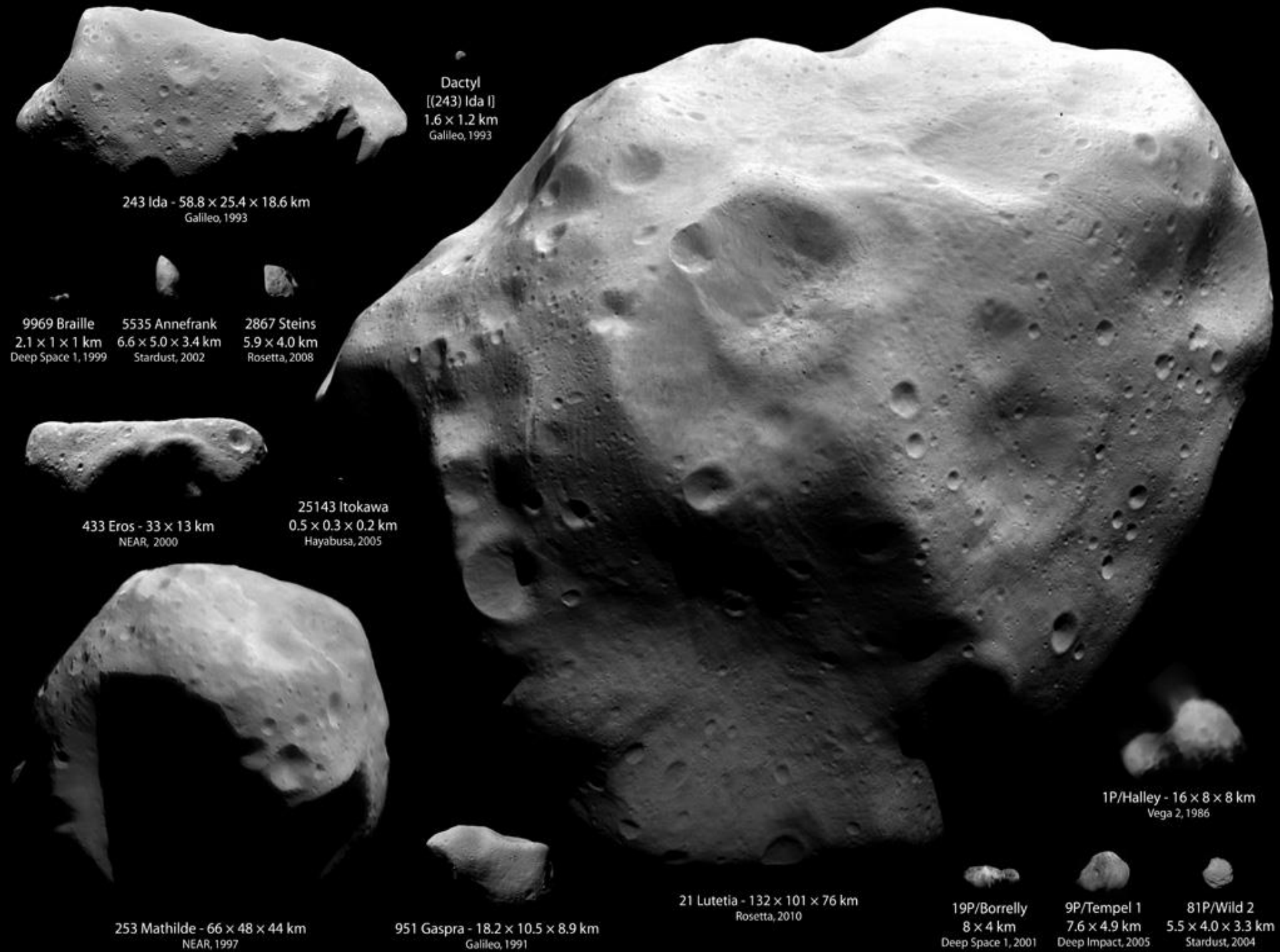
Fig. 4. Model views of 1998 SF36 (pole-on and equatorial edge-on/end-on).





# Itokawa from Hayabusa (JAXA)





Dactyl  
[[243] Ida I]  
1.6 × 1.2 km  
Galileo, 1993

243 Ida - 58.8 × 25.4 × 18.6 km  
Galileo, 1993

9969 Braille  
2.1 × 1 × 1 km  
Deep Space 1, 1999

5535 Annefrank  
6.6 × 5.0 × 3.4 km  
Stardust, 2002

2867 Steins  
5.9 × 4.0 km  
Rosetta, 2008

433 Eros - 33 × 13 km  
NEAR, 2000

25143 Itokawa  
0.5 × 0.3 × 0.2 km  
Hayabusa, 2005

253 Mathilde - 66 × 48 × 44 km  
NEAR, 1997

951 Gaspra - 18.2 × 10.5 × 8.9 km  
Galileo, 1991

21 Lutetia - 132 × 101 × 76 km  
Rosetta, 2010

19P/Borrelly  
8 × 4 km  
Deep Space 1, 2001

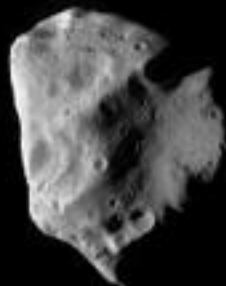
9P/Tempel 1  
7.6 × 4.9 km  
Deep Impact, 2005

81P/Wild 2  
5.5 × 4.0 × 3.3 km  
Stardust, 2004

1P/Halley - 16 × 8 × 8 km  
Vega 2, 1986



4 Vesta



21 Lutetia



253 Mathilde



243 Ida

243 Ida 1 Dactyl



433 Eros



951 Gaspra



2867 Šteins



25143 Itokawa

Lucy missie 1 nov 2023 : Dinkinesh



Lucy : maantje van Dinkinesh = contact binary

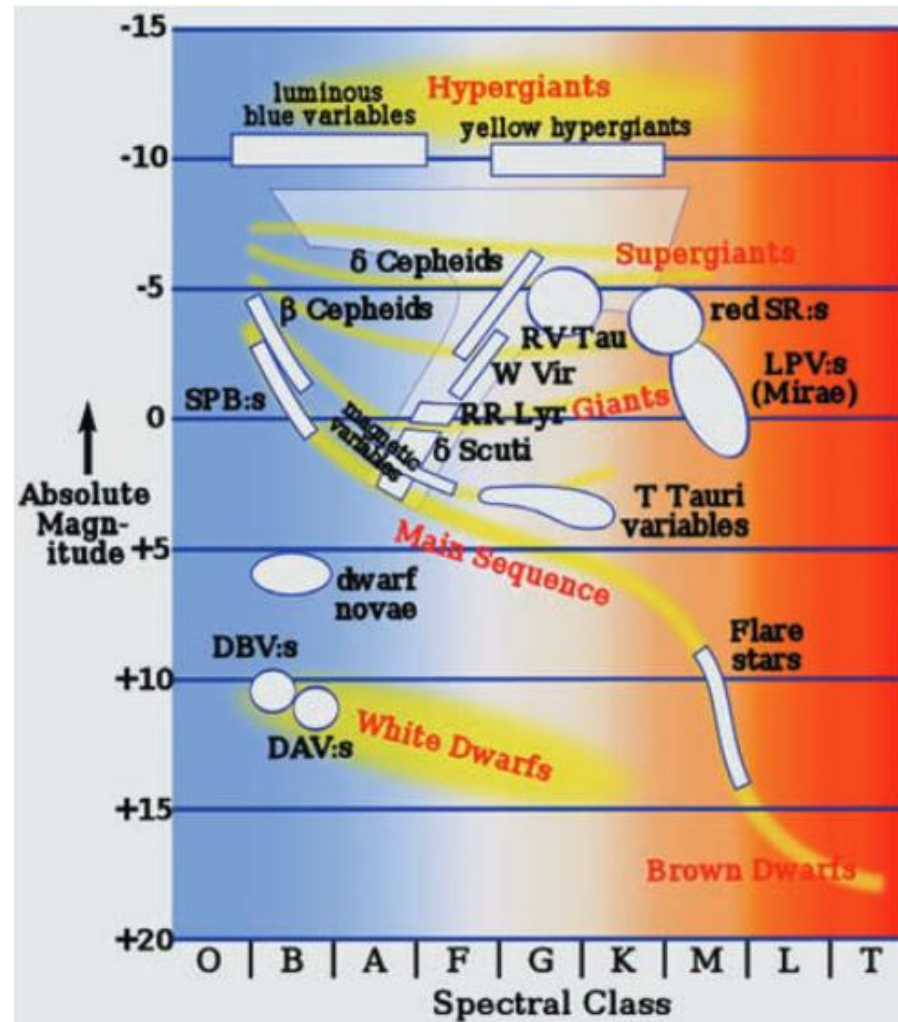


## Deel 2 : Variabele sterren

- Sinds 2015 met Prof. Katrien Kolenberg
- HADS : High Amplitude Delta Scuti sterren
  - Pulseren met korte periode (1 – 2h)
  - Haalbare magnitudes 11 – 14
  - Grote amplitudes tot bijna 1 !
  - Soms complexe periodes
  - Overtonen (meerdere inwendige periodes)

# Variabele sterren

- Onstabiele band in H-R
- Cepheiden
- RR Lyrae sterren
- Delta Scuti
  - HADS (High Amplitude)
  - Korte periode (1 – 2h)
  - Soms complexe periode
  - overtonen



# (UA) Variabele sterren (HADS – Delta Scuti)



NASA Delta Scuti pulsations: <https://youtu.be/tVOiuwuvEBU>

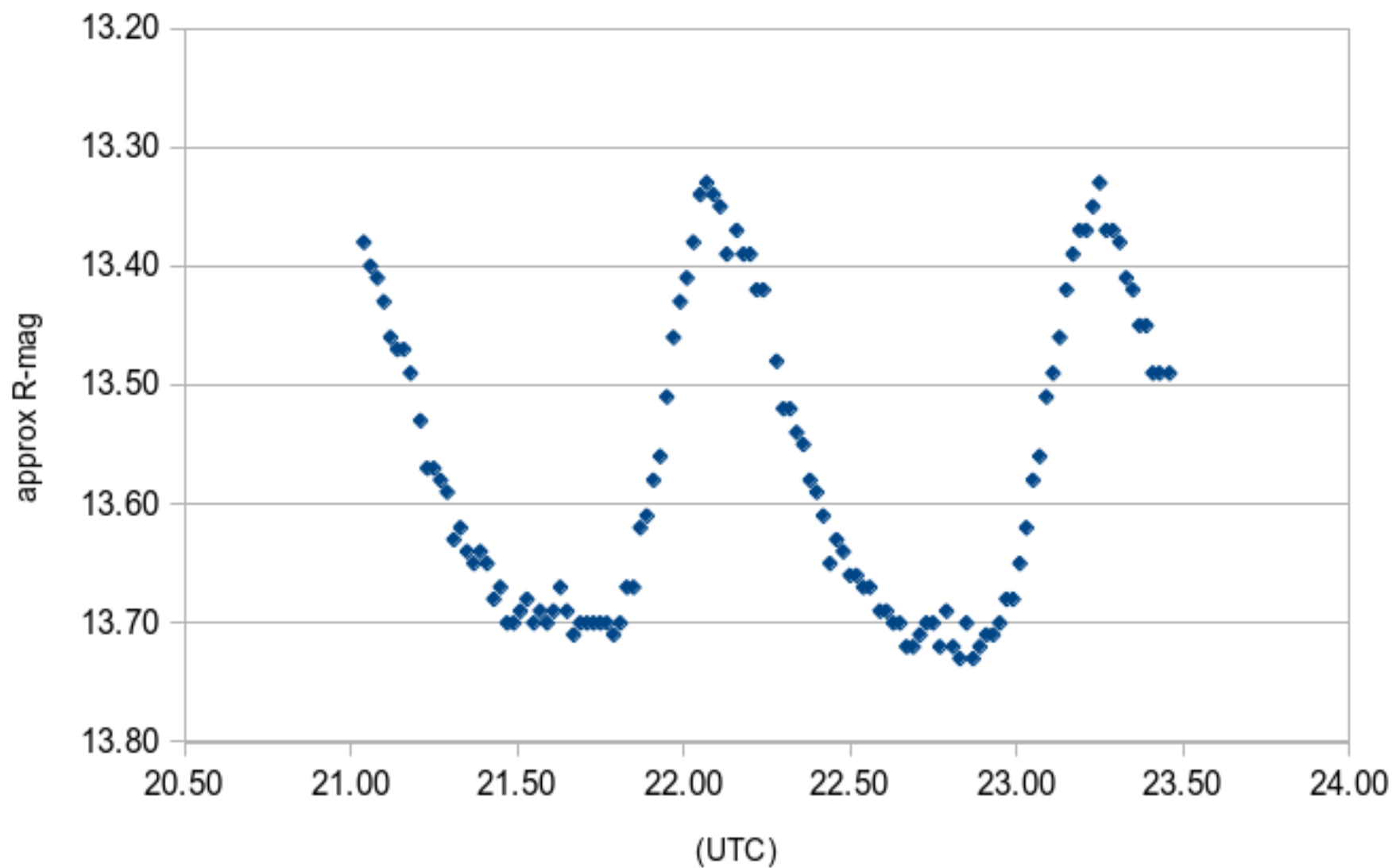


# (UA) Variabele sterren (HADS – Delta Scuti)

Name	AUID	RA	Dec	Const	Type	Period	Mag	Amplit	Filter
1SWASP J022738.70+431443.4	000-BJX-247	02 27 38.71	+43 14 43.3	And	SXPHE	1.490	13.50	0.32	clear
<b>GSC 02847-00586</b>	--	<b>03 04 08.25</b>	<b>+38 30 54.0</b>	<b>Per</b>	<b>HADS</b>	<b>3.391</b>	<b>10.70</b>	<b>0.35</b>	<b>V</b>
NSVS 4156098	000-BKV-473	03 22 42.51	+39 06 34.7	Per	HADS	2.643	12.46	0.61	R1
ASAS J042606+0126.5	000-BLK-351	04 26 05.90	+01 26 26.2	Tau	HADS(B)	1.786	12.00	0.55	V
VSX J043039.1+124954	000-BKF-739	04 30 39.12	+12 49 54.9	Tau	HADS	2.337	13.85	0.55	V
CSS_J052000.6+085008	--	05 20 00.64	+08 50 08.3	Ori	HADS	1.658	13.39	0.23	CV
ASAS J053952+2001.2	000-BGC-804	05 39 52.24	+20 01 09.8	Tau	HADS	2.078	11.90	0.34	V
<b>GSC 03755-00845</b>	<b>000-BJN-615</b>	<b>06 05 01.84</b>	<b>+55 09 51.9</b>	<b>Aur</b>	<b>HADS</b>	<b>1.826</b>	<b>10.40</b>	<b>0.30</b>	<b>R1</b>
GSC 02420-00093	--	06 12 13.90	+31 48 24.4	Aur	HADS(B)	1.705	12.89	0.31	CV
USNO-B1.0 1118-0137672	--	06 40 33.01	+21 48 57.1	Gem	HADS	2.761	13.40	0.36	Rc
ASAS J070452+1027.5	000-BLG-619	07 04 52.42	+10 27 24.2	Gem	HADS	2.238	12.23	0.47	V
CSS_J072419.1+385323	--	07 24 19.17	+38 53 23.1	Aur	HADS	2.474	13.82	0.34	CV
<b>ASAS J073758+0552.3</b>	<b>000-BGK-934</b>	<b>07 37 58.50</b>	<b>+05 52 27.6</b>	<b>CMi</b>	<b>HADS</b>	<b>1.138</b>	<b>12.75</b>	<b>0.47</b>	<b>V</b>
GSC 02977-00238	000-BJN-616	08 19 17.58	+41 59 00.5	Lyn	HADS	1.822	10.60	0.40	R1
CSS_J082237.3+030441	--	08 22 37.38	+03 04 41.8	Hya	HADS	2.173	13.68	0.23	CV
<b>BO Lyn</b>	<b>000-BCW-282</b>	<b>08 43 01.23</b>	<b>+40 59 51.8</b>	<b>Lyn</b>	<b>HADS</b>	<b>2.241</b>	<b>12.20</b>	<b>0.32</b>	<b>B</b>
KP 110124	--	08 58 54.72	+15 22 09.7	Cnc	HADS(B)	1.383	13.62	0.35	CV
AN Lyn	000-BCW-277	09 14 28.69	+42 46 38.4	Lyn	HADS	2.359	10.58	0.21	V
NSVS 7446012	000-BKN-608	09 14 52.36	+34 18 34.6	Lyn	HADS	1.626	12.90	0.38	CV
NSVS 7467387	000-BKN-998	09 47 05.64	+32 01 55.0	Leo	HADS	3.578	13.10	0.25	CV
GSC 03004-00870	000-BKV-474	10 21 35.33	+40 31 41.2	UMa	HADS	1.972	13.20	0.60	V
CSS_J102714.3+205943	--	10 27 14.30	+20 59 43.7	Leo	HADS	1.642	13.79	0.34	CV
ASAS J121341+1714.6	000-BLH-162	12 13 40.78	+17 14 37.8	Com	HADS	1.971	12.03	0.28	V
<b>ASAS J142443+0438.8</b>	<b>000-BHB-921</b>	<b>14 24 43.37</b>	<b>+04 38 50.1</b>	<b>Vir</b>	<b>HADS</b>	<b>1.878</b>	<b>12.99</b>	<b>0.75</b>	<b>V</b>
NSVS 10553101	000-BKM-959	14 47 29.92	+11 58 38.9	Boo	HADS	1.867	13.35	0.33	V
ROTSE1 J145007.65+381455.7	--	14 50 07.66	+38 14 55.8	Boo	HADS	2.496	13.70	0.30	CR
GSC 02566-01398	000-BJN-619	15 22 21.52	+32 58 45.6	Boo	HADS	2.177	11.90	0.40	R1

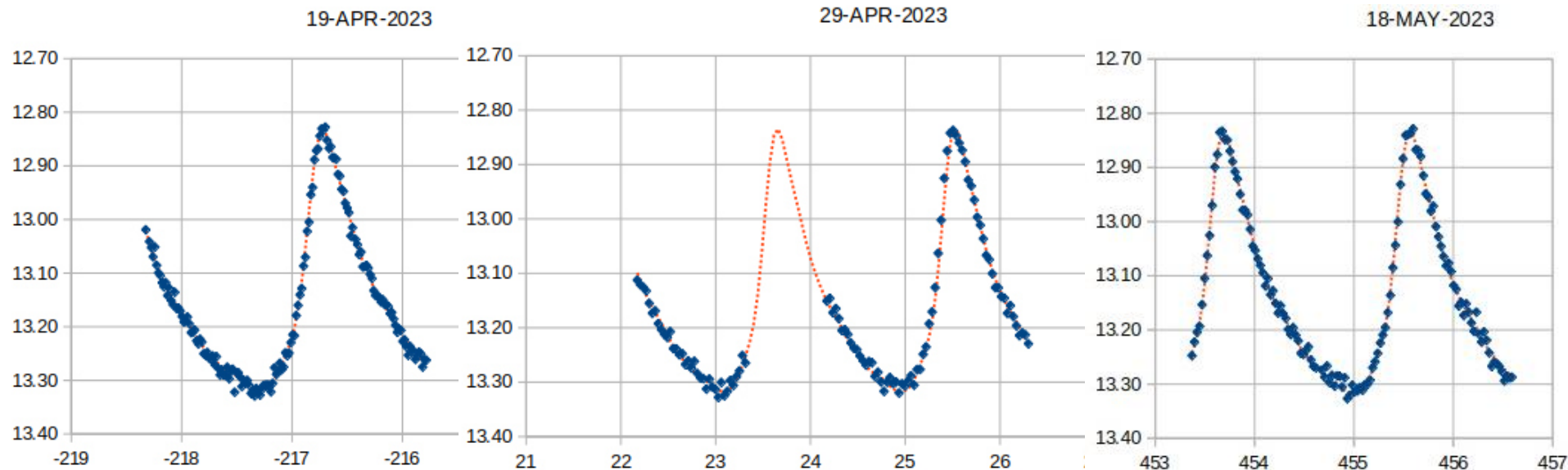
# ASAS J073758+552.3

18-02-2015 (Iris NGAIN2 + PSF 16 pixels + 4 USNO B1.0 stars)



# Linken van HADS waarnemingen

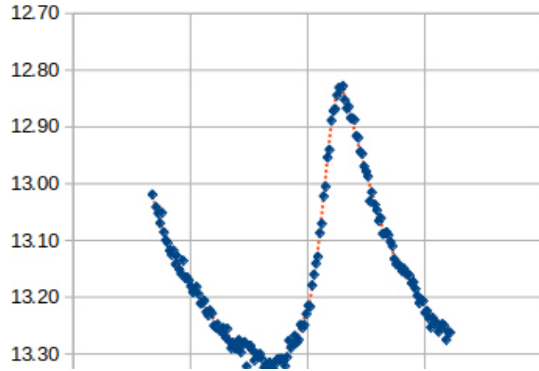
- Hoge nauwkeurigheid door meerdere avonden te koppelen
- Voorbeeld ASAS J142443+0438.8 reeds 8 jaar waargenomen
  - periode 1.87 h kan je op 1 avond meten
  - met 1 maand data (> 300 periodes) al veel betere fit met methode van kleinste kwadraten en Fourier-analyse of Period 04



# Linken van HADS waarnemingen

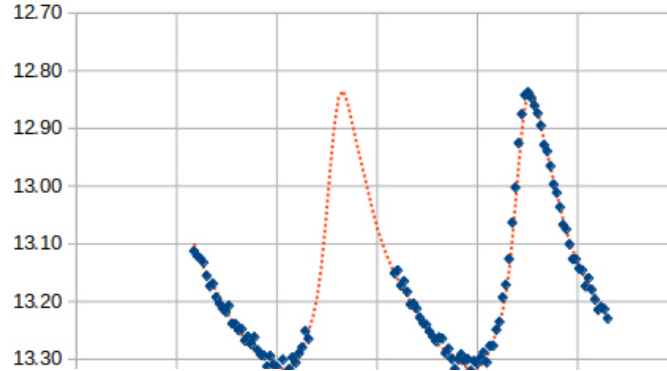
- Zo kan men meerdere jaren terugkoppelen
- ASAS J142443+0438.8 heel stabiele pulsatie over 8 jaar :
  - **1.877853 h** (nauwkeurigheid wordt grootteorde microseconden!)

19-APR-2023



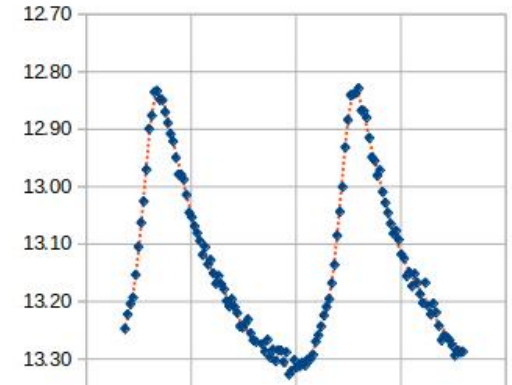
ASAS J142443+0438.8  
19-apr-2018 UT

29-APR-2023

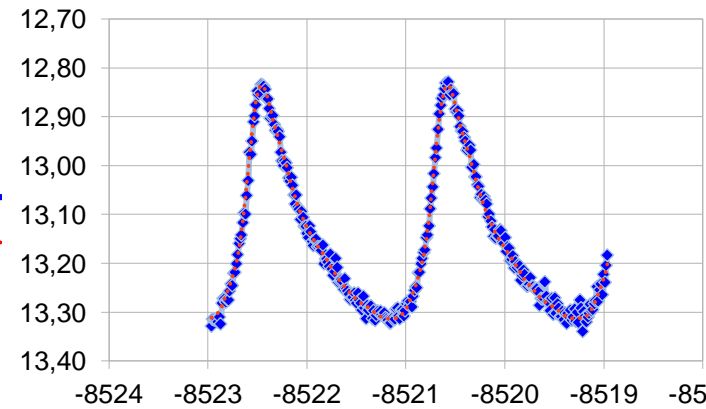
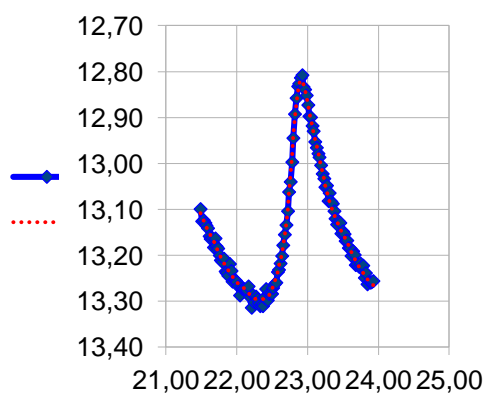
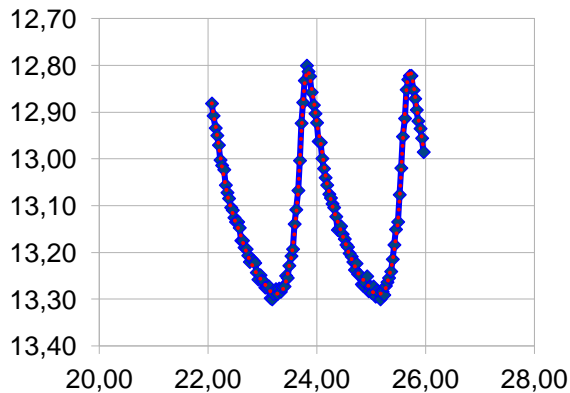


ASAS J142443+0438.8  
05-may-2018 UT

18-MAY-2023



05-may-2022



# Deel 3 : Exoplaneet transits

- Exoplaneet overgangen
  - steeds meer sterren gekend met transiterende planeten (ruimtemissies : Kepler, TESS, Corot ... )
  - daling van lichtflux gemeten in milli-magnituden
  - Heel wat heldere sterren (mag 7-12) met 10-30 mmag dip
  - Zoals aangetoond haalbaar met 40cm Urania kijker
- Voorspellingen:
  - ETD : exoplanet transit database
  - Exoclock : voorbereiding ruimtemissie Ariel
  - Ook voor geïnteresseerde amateur nuttige bijdrage mogelijk





B.R.N.O.



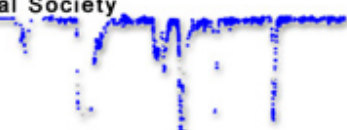
MEDUZA



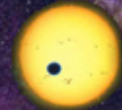
TRESKA



HERO



# ETD



## Exoplanet Transit Database

... complete ... worldwide ... continuously growing ...

<http://var.astro.cz/ETD>

### Known transitters:

- 55 Cnc e
- AU Mic b
- AU Mic c
- CoRoT-1 b
- CoRoT-10 b
- CoRoT-11 b
- CoRoT-12 b
- CoRoT-13 b
- CoRoT-17 b
- CoRoT-18 b
- CoRoT-19 b
- CoRoT-2 b
- CoRoT-20 b
- CoRoT-3 b
- CoRoT-4 b
- CoRoT-5 b
- CoRoT-6 b
- CoRoT-8 b
- CoRoT-9 b
- EPIC 218916923 b
- EPIC 228735255 b
- EPIC-203771098 b
- EPIC-203771098 c
- EPIC-210957318 b
- EPIC-211089792 b
- EPIC-212110888 b
- GJ1214 b
- GJ3470 b
- GJ436 b
- GPX-1 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-10/WASP-11 b
- HAT-P-11 b
- HAT-P-12 b
- HAT-P-13 b
- HAT-P-14 b
- HAT-P-15 b
- HAT-P-16 b
- HAT-P-17 b

## ETD - Exoplanet Transit Database

[Observers community](#) | 
 [How to contribute to ETD](#) | 
 [Model-fit your data](#) | 
 [Transit predictions](#) | 
 [KEPLER predictions](#) | 
 [TESS Predictions](#)

What's new:

ETD is here to supply quickly and easily the **list of all ever observed transits of transiting exoplanets** to observers and researchers.

Our database administrators are periodically checking for new transits - both in literature and in on-line internet sources. Each transit is stored with complete citations, link to the paper / on-line source URL.

For each exoplanet, there is available graphical output of relations:

- transit **TIMINGS** vs. EPOCH
- transit **DURATION** vs. EPOCH
- transit **DEPTH** vs. EPOCH and
- **list of available transits**.

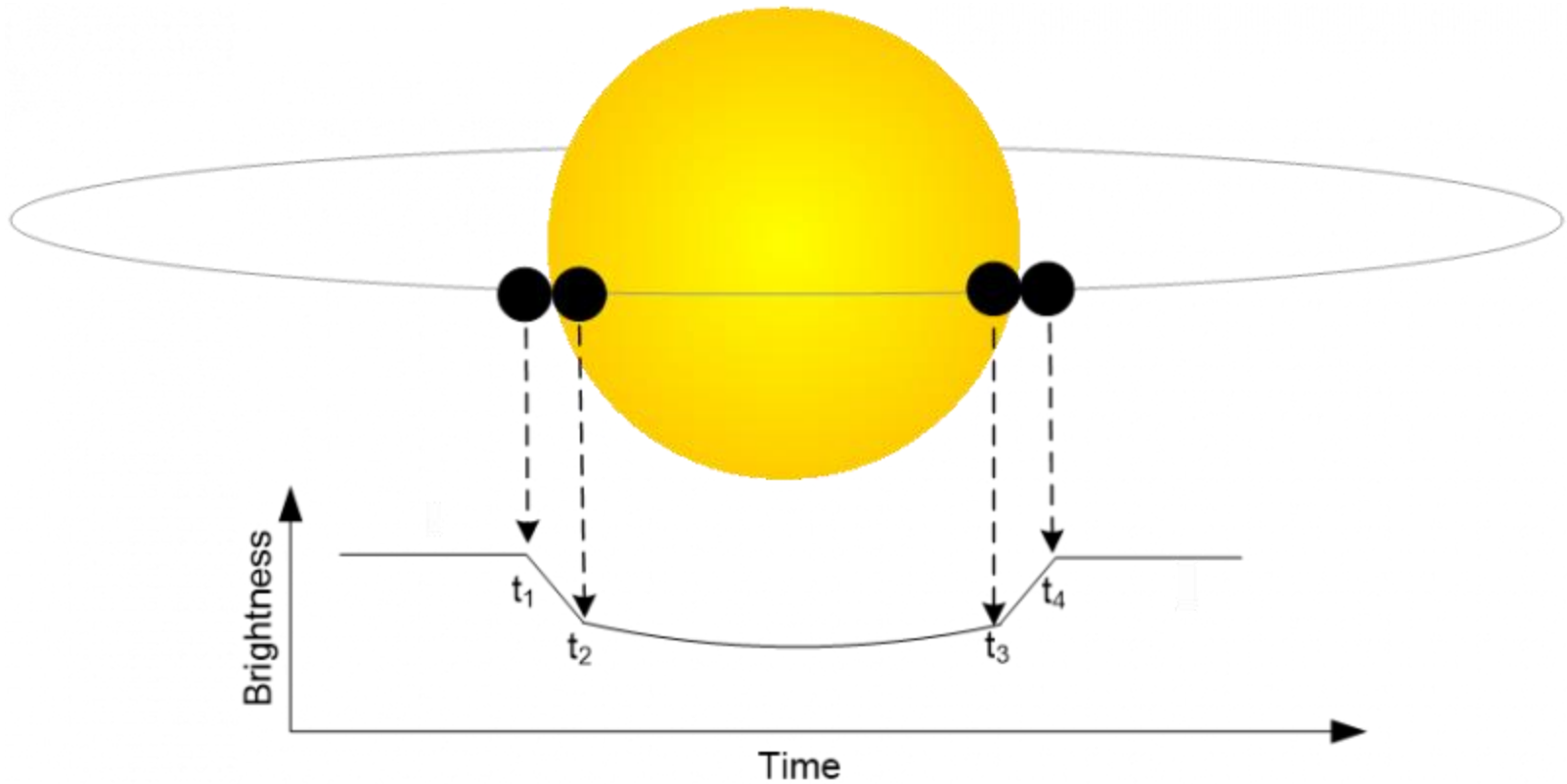
**Data quality is rated** for each observation and the DQ index is taken into account while plotting graphs.

### Tools for observers :

- Observers can plot their own observations in diagrams.
- Model-fitting of transit observation and finding out parameters HJDmid, Depth, Duration.
- Global transit predictions.

	OBJECT	CONST	# OF DATA	TIME SPAN FROM - TILL		LAST CHANGES (DAYS) <small>Red if less than 1 week ago</small>
1	<a href="#">55 Cnc e</a>	Cnc	1	2011-02	2011-02	04. May 2011 (3958)
2	<a href="#">AU Mic b</a>	Mic	0			
3	<a href="#">AU Mic c</a>	Mic	0			
4	<a href="#">CoRoT-1 b</a>	Mon	109	2007-02	2021-03	09. Apr 2021 (330)

# Typische lichtcurve exoplaneet transit

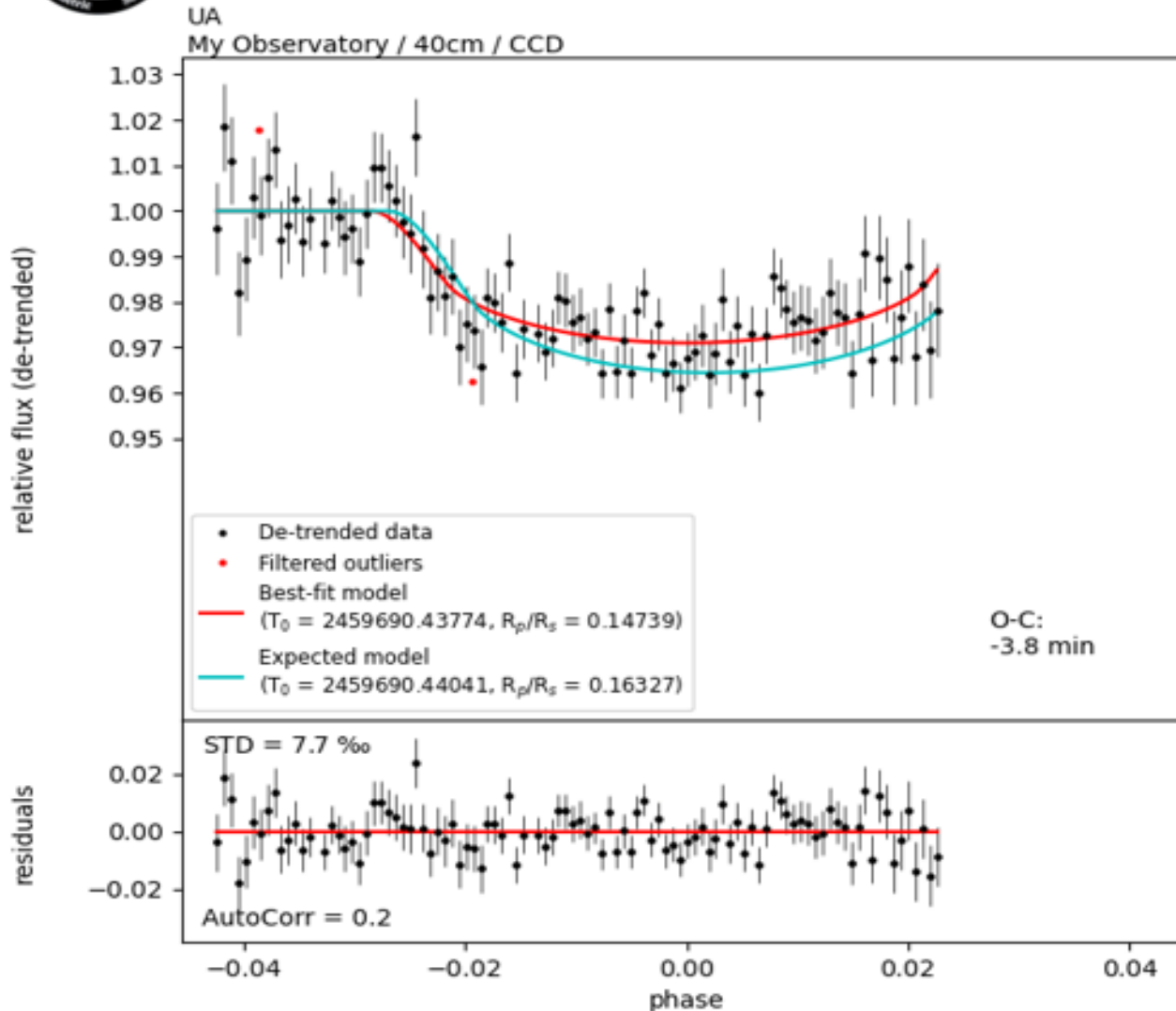


# Urania UA waarneming Qatar 2 b (20-04-2022)



## Qatar – 2b

2022-04-20 20:58 (UT)  
Dur: 2.1h / Exp: 60.0s  
Filter: Clear



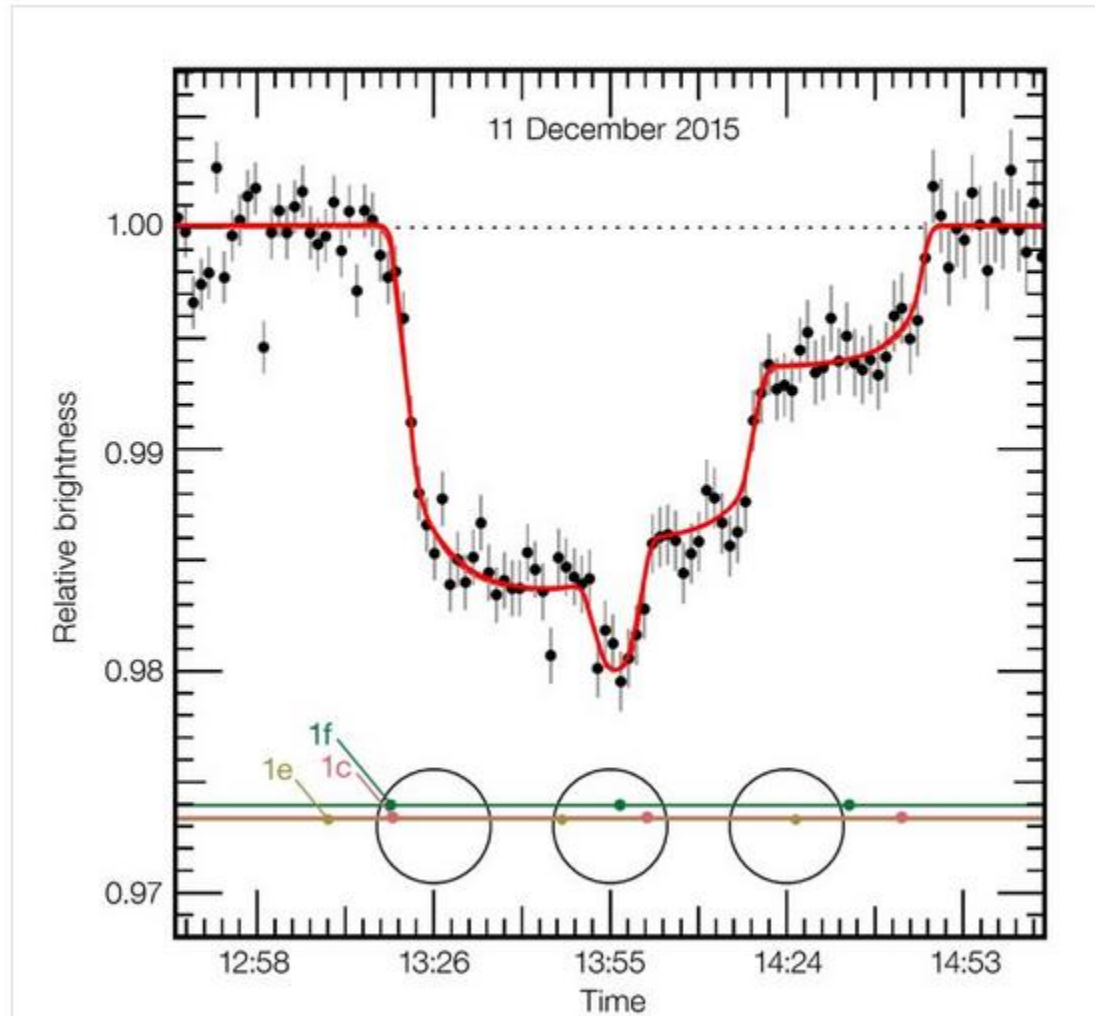


# ESO VLT waarneming van Trappist-1 dwergster



European  
Southern  
Observatory

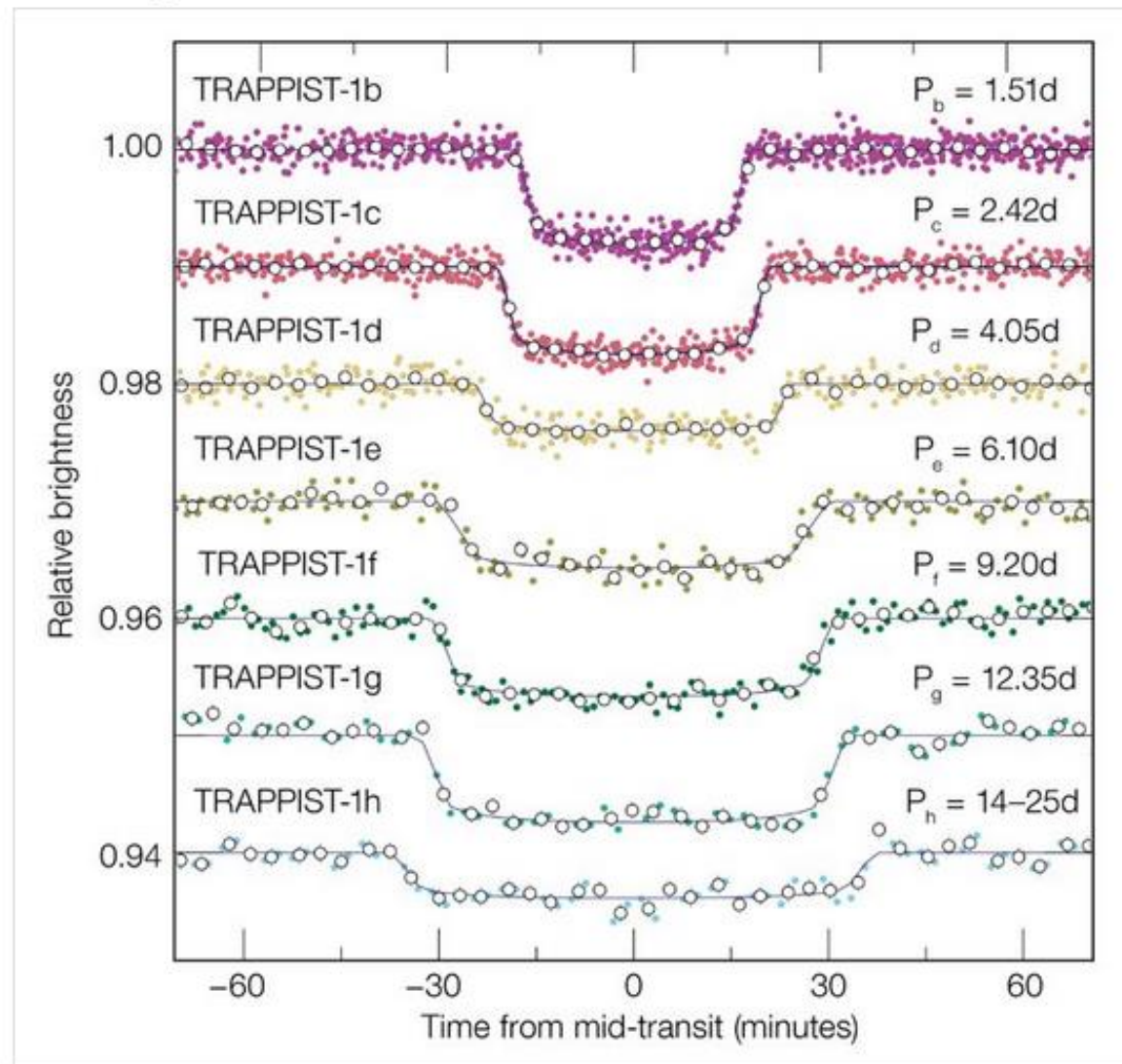
VLT observations of the light curve of  
TRAPPIST-1 during the triple transit of 11  
December 2015



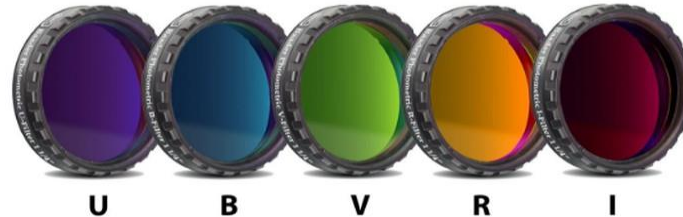


European  
Southern  
Observatory

## Light curves of the seven TRAPPIST-1 planets as they transit



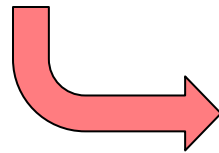
# Wat kan er nog meer : Kleurfotometrie



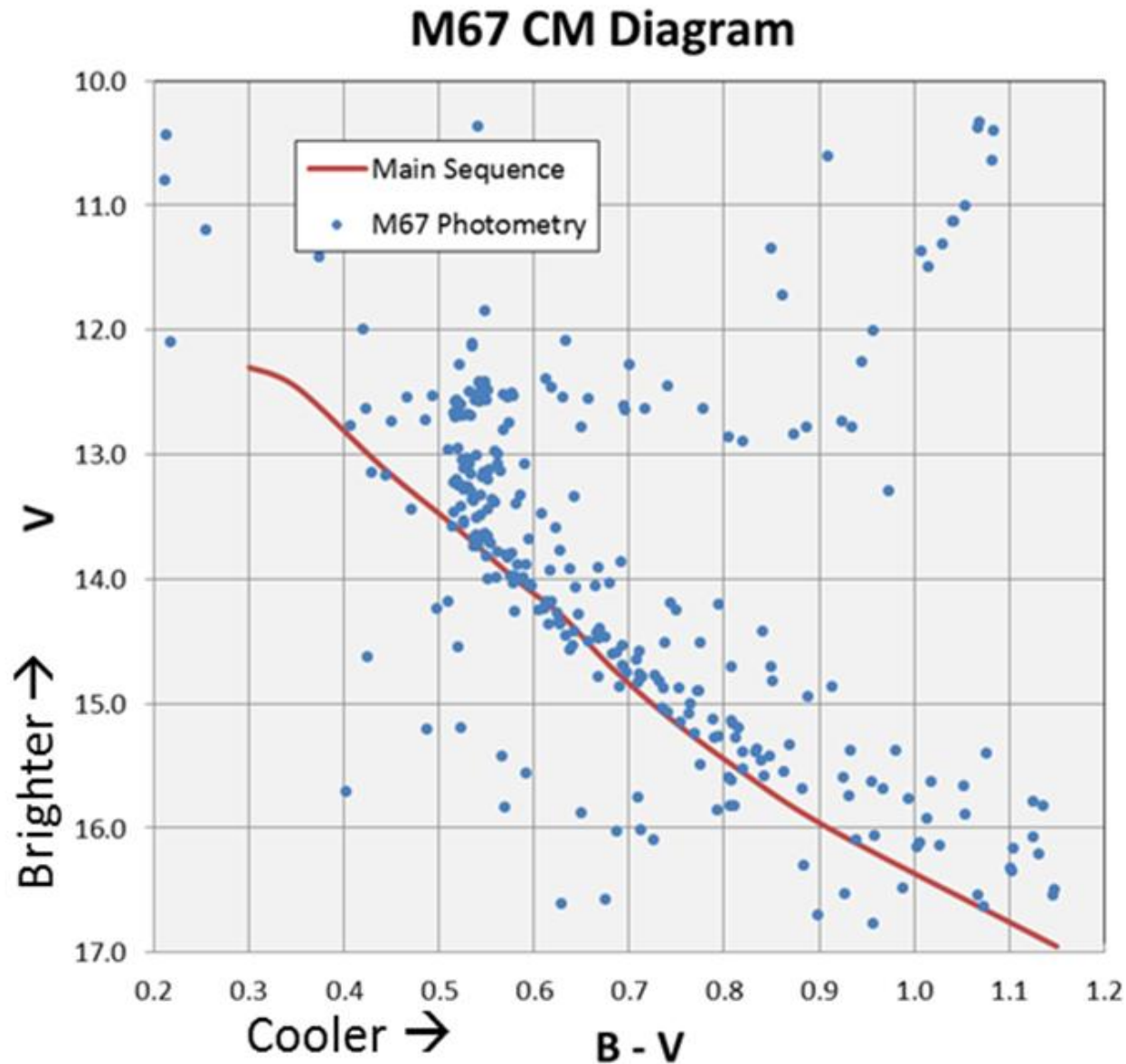
- gebruik van kleurfilters
- Nog meer mogelijkheden in het kleurdomein
- Verder verkennen van het spectraal domein
- Onze CCD camera kan al een heel eind in het IR
- professionele astronomie in het infrarode domein
  - roodverschuiving
- fotometrische filters bieden een soort spectroscopie:
  - narrowband filters ziet men specifieke moleculen

# Kleur fotometrie

- Johnson Cousins UBVRI filterbanden
- Bepalen van kleurindexen
  - Uitmeten van bijvoorbeeld een bolvormige sterrenhoop
    - ⇒ Magnitude meten van alle sterren (tot de zwakste)
    - ⇒ Met minstens 2 verschillende kleurfilters (B + V)
    - ⇒ Correctie toepassen voor extinctie / refractie ...
    - ⇒ We bepalen dan voor elk van die sterren de kleurindex:  
 $(B - V)$  of  $(V - R)$
    - ⇒ Tenslotte zetten we dan deze kleurindexen in een grafiek
      - ⇒ Horizontaal de kleurindex (B-V)
      - ⇒ Verticaal de magnitude



# M67 Bolhoop – Hertzsprung Russell Diagram



# Overzicht Urania – UA waarnemingen

Tabel 1 : Overzicht Urania – UA fotometrie waarnemingen

Datum	Object	Nr Ast	Naam	Sterren beeld
2007	4 11	Ast	107 Camilla	Cnc
2007	4 18	Ast	107 Camilla	Cnc
2007	4 19	Ast	107 Camilla	Cnc
2007	4 26	Ast	107 Camilla	Cnc
2007	4 30	Ast	243 Ida	Cnc
2007	5 1	Ast	665 Sabine	Cnc
2008	4 11	Ast	2001 Einstein	Sex
2008	4 15	Ast	440 Theodora	Cnc
2008	4 22	Ast	39 Laetitia	Leo
2008	5 6	Ast	5010 Amenemhet	Vir
2008	5 8	Ast	5010 Amenemhet	Vir
2008	5 11	Ast	5010 Amenemhet	Vir
2009	4 1	Ast	1656 Suomi	Vir
2009	4 21	Ast	1656 Suomi	Vir
2009	4 21	Ast	201 Penelope	Leo
2009	4 22	Ast	201 Penelope	Leo
2009	5 7	Ast	1656 Suomi	Com
2009	5 8	Ast	201 Penelope	Leo
2010	3 7	Ast	616 Elly	Leo
2010	4 10	Ast	616 Elly	Leo
2010	4 14	Ast	616 Elly	Leo
2010	4 17	Ast	766 Moguntia	Leo
2010	4 24	Ast	1095 Tulipa	Vir
2011	3 28	Ast	321 Florentina	Leo
2011	4 9	Ast	1318 Nerina	Leo
2011	4 18	Ast	353 Ruperto-carola	Vir
2011	4 21	Ast	321 Florentina	Leo
2011	4 24	Ast	1318 Nerina	Sex
2012	3 14	Ast	2445 Blazhko	Vir
2012	3 21	Ast	2445 Blazhko	Leo
2012	3 26	Ast	243 Ida	Leo
2012	3 28	Ast	1619 Ueta	Vir
2012	5 16	Ast	3223 Forsius	Vir

Datum	Object	Nr Ast	Naam	Sterren beeld
2013	2 20	Ast	201 Penelope	Cnc
2013	3 4	Ast	587 Hypsipyle	Cnc
2013	3 26	Ast	797 Montana	Leo
2013	4 2	Ast	901 Brunsia	Leo
2013	4 18	Ast	22 Kalliope	Vir
2013	4 20	Ast	22 Kalliope	Vir
2013	4 25	Ast	22 Kalliope	Vir
2014	2 26	Ast	129 Antigone	Cnc
2014	3 4	Ast	822 Lalage	Cnc
2014	3 5	Ast	822 Lalage	Cnc
2014	3 6	Ast	822 Lalage	Cnc
2014	3 10	Ast	129 Antigone	Cnc
2014	3 13	Ast	107 Camilla	Leo
2014	3 16	Ast	129 Antigone	Cnc
2014	4 9	Ast	107 Camilla	Leo
2015	2 6	Ast	354 Eleonora	Leo
2015	2 18	HADS	ASAS J073758+0552.3	Cmi
2015	3 12	Ast	353 Ruperto-carola	Gem
2015	3 22	Ast	353 Ruperto-carola	Gem
2015	4 4	Ast	354 Eleonora	Leo
2015	4 8	HADS	ASAS J112518-0047.3	Leo
2015	4 9	HADS	GSC 02977-00238?	Lyn
2015	4 10	HADS	GSC 02566-01398	Boo
2015	4 14	Ast	1095 Tulipa	Leo
2015	4 19	Ast	6663 Tatebayashi	Com
2015	4 23	HADS	GSC 02566-01398	Boo
2015	4 29	HADS	GSC 02977-00238	Lyn
2015	4 30	HADS	ASAS J142443+0438.8	Com
2016	4 11	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2016	4 17	HADS	ASAS J121341+1714.6	Com
2016	4 19	HADS	NSVS 7446012	Lyn
2016	5 1	HADS	GSC 02977-00238	Lyn
2016	5 4	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir

Datum	Object	Nr Ast	Naam	Sterren beeld
2016	5 7	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2016	5 8	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2017	3 16	Ast	1602 Indiana	Leo
2017	3 27	Exo	WD1145+017b	Vir
2017	3 28	HADS	KP110124	Cnc
2017	4 3	Ast	16 Psyche	Leo
2017	4 8	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2017	4 10	HADS	GSC 03755-00845	Aur
2017	4 29	HADS	CSS J1027143+205943	Leo
2018	3 26	HADS	ASAS J073758+0552.3	Cmi
2018	4 11	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2018	4 17	HADS	GSC 02977-00238	Lyn
2018	4 19	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2018	5 3	HADS	GSC 02566-01398	Boo
2018	5 5	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2018	9 24	RR Lyrae	RR Lyrae	Lyr
2019	3 28	HADS	BO Lyn	Lyn
2019	4 18	HADS	NSVS 2672157	Uma
2019	4 21	HADS	GSC 03004-00870	Uma
2019	5 13	HADS	GSC 03832-00152	Uma
2022	3 19	Ast	201 Penelope	Leo
2022	4 16	Ast	201 Penelope	Leo
2022	4 18	Ast	201 Penelope	Leo
2022	4 20	Exo	Qatar 2b	Vir
2022	4 20	Exo	HD189733b	Vul
2022	4 27	Ast	1816 Liberia	Uma
2022	5 8	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2023	2 27	HADS	ASAS J073758+0552.3	Cmi
2023	4 3	HADS	GSC 03755-00845	Aur
2023	4 17	HADS	GSC 03004-00870	Uma
2023	4 18	HADS	ASAS J112518-0047.3	Leo
2023	4 19	HADS	ASAS J142443+0438.8	Vir
2023	4 29	HADS	ASAS J142443+0438.8 (= 3	Vir

# Besluit

- Geslaagde samenwerking Urania - UA Antwerpen
  - Nu reeds 15 jaar waarnemingsintroducties voor studenten
  - Typisch 5-6 groepjes van 4-5 studenten per jaar
  - Bijna 100 waarnemingsnachten (400 – 500 studenten)
  - Oriënteren aan de nachthemel
  - Werken met 40cm telescoop en CCD camera
  - Verwerken van opnames tot lichtcurves (Iris / Fourier / MATLAB)
  - ‘Pro-Am’ samenwerking
- Komende jaren:
  - Bijdragen aan pulserende multiperiodieke HADS sterren
  - Steeds kans op toevallige ontdekking (binaire asteroïde)
  - Nieuwe CMOS camera in gebruik nemen: groter beeldveld
  - Werken met kleurfilters?

**VRAGEN ?**

**BACKUP SLIDES**