



**PASCAL HILKENS  
WALTER SWINNEN  
JOHAN LUYCKX**

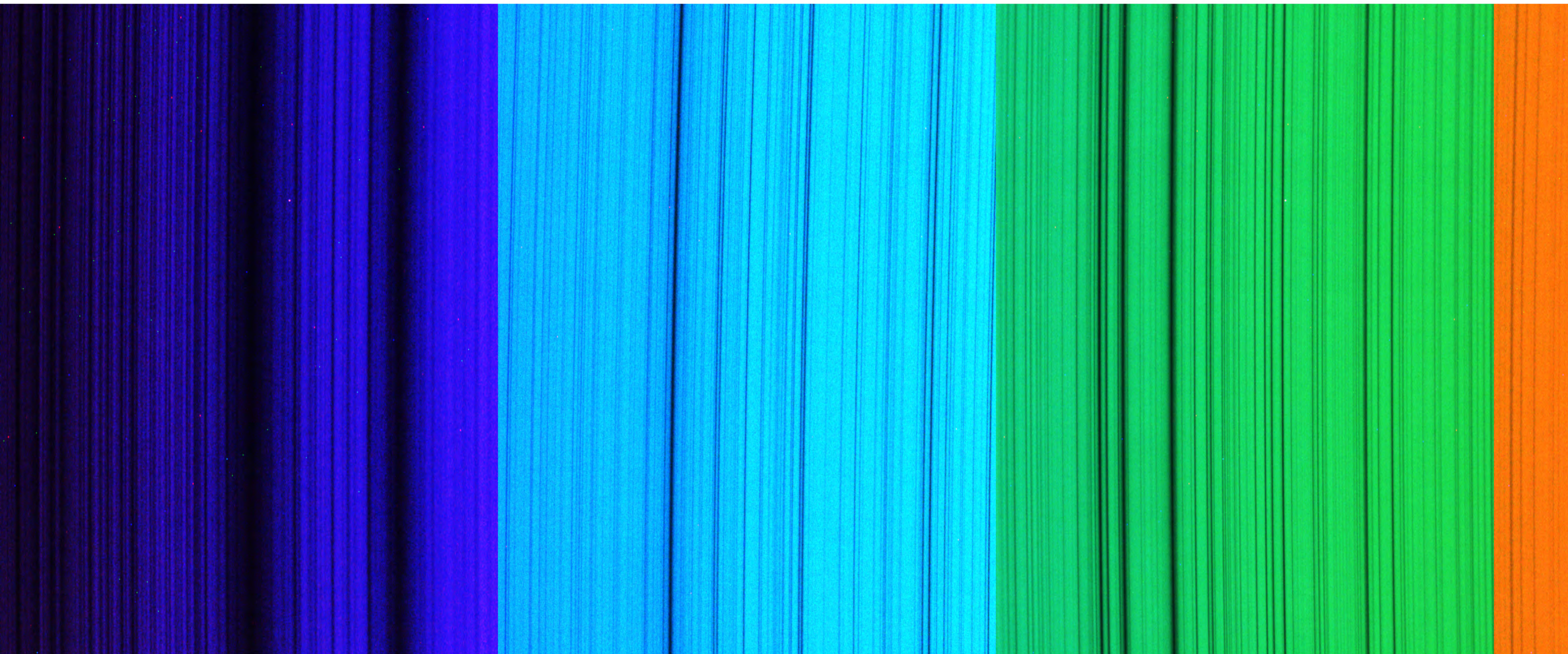
Sol'Ex: DIY Amateur Spectroheliograaf

CaK

CaH

H-Beta

Mg Triplet





# Sol'Ex: DIY The Solar Explorer

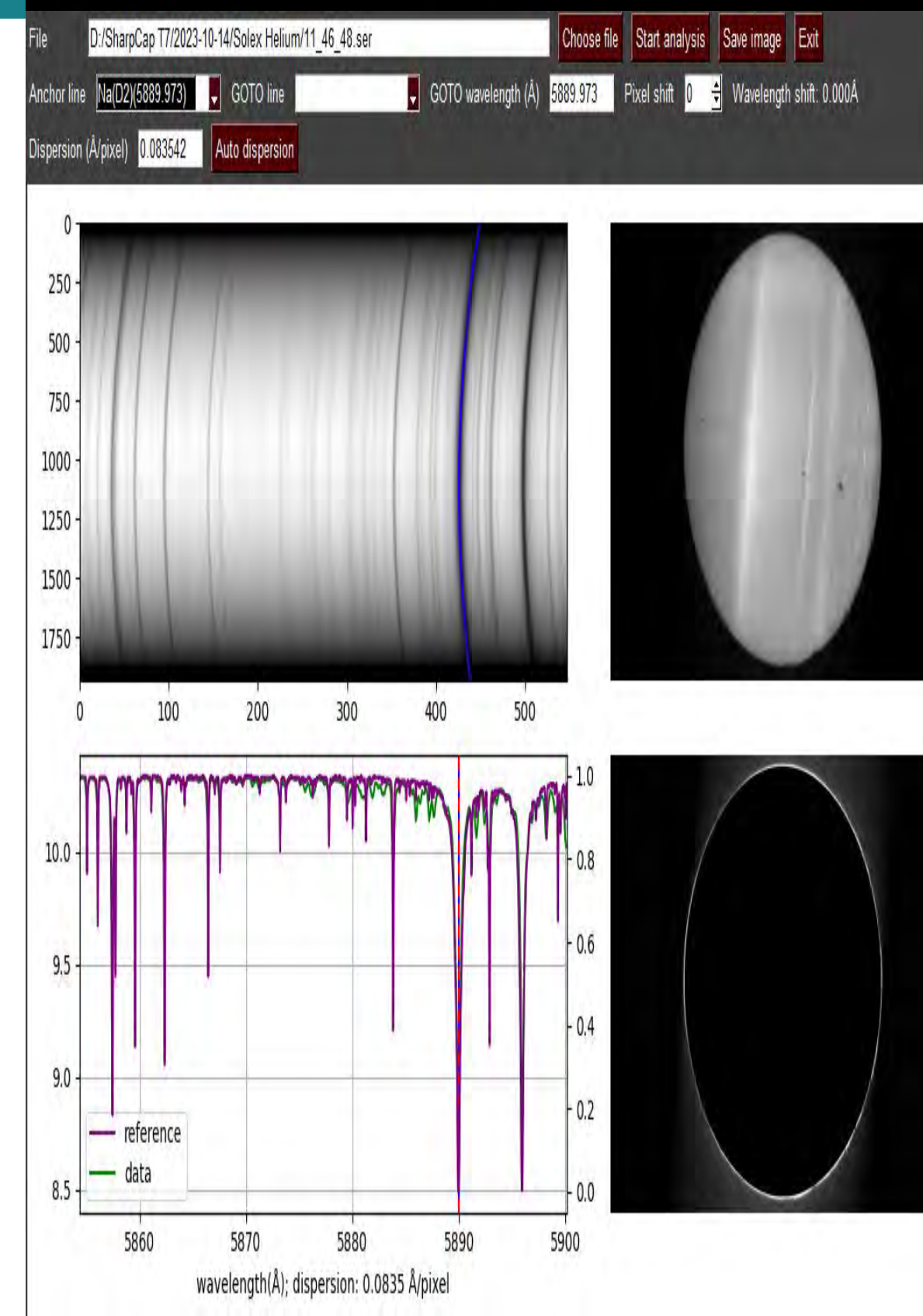
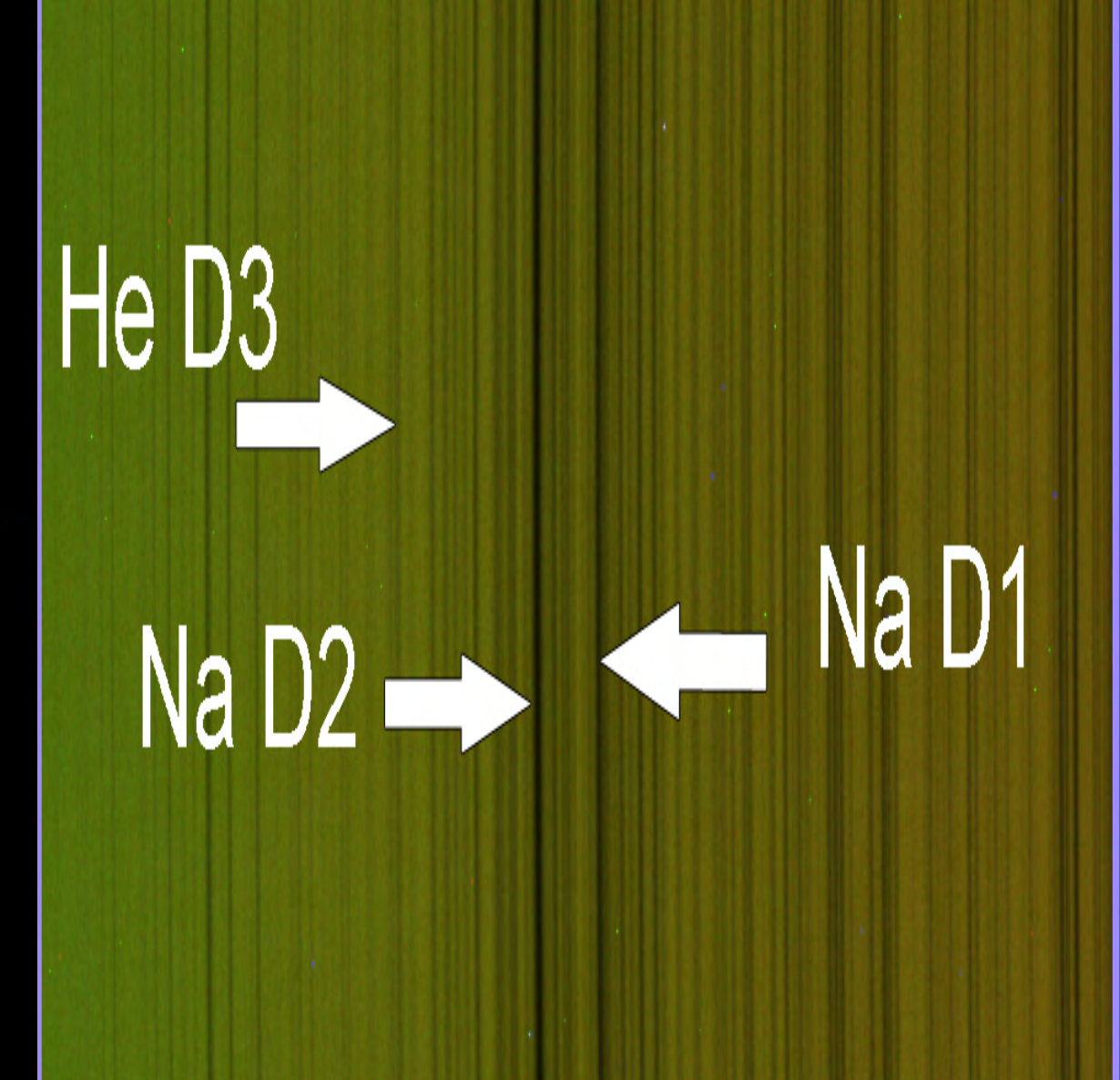
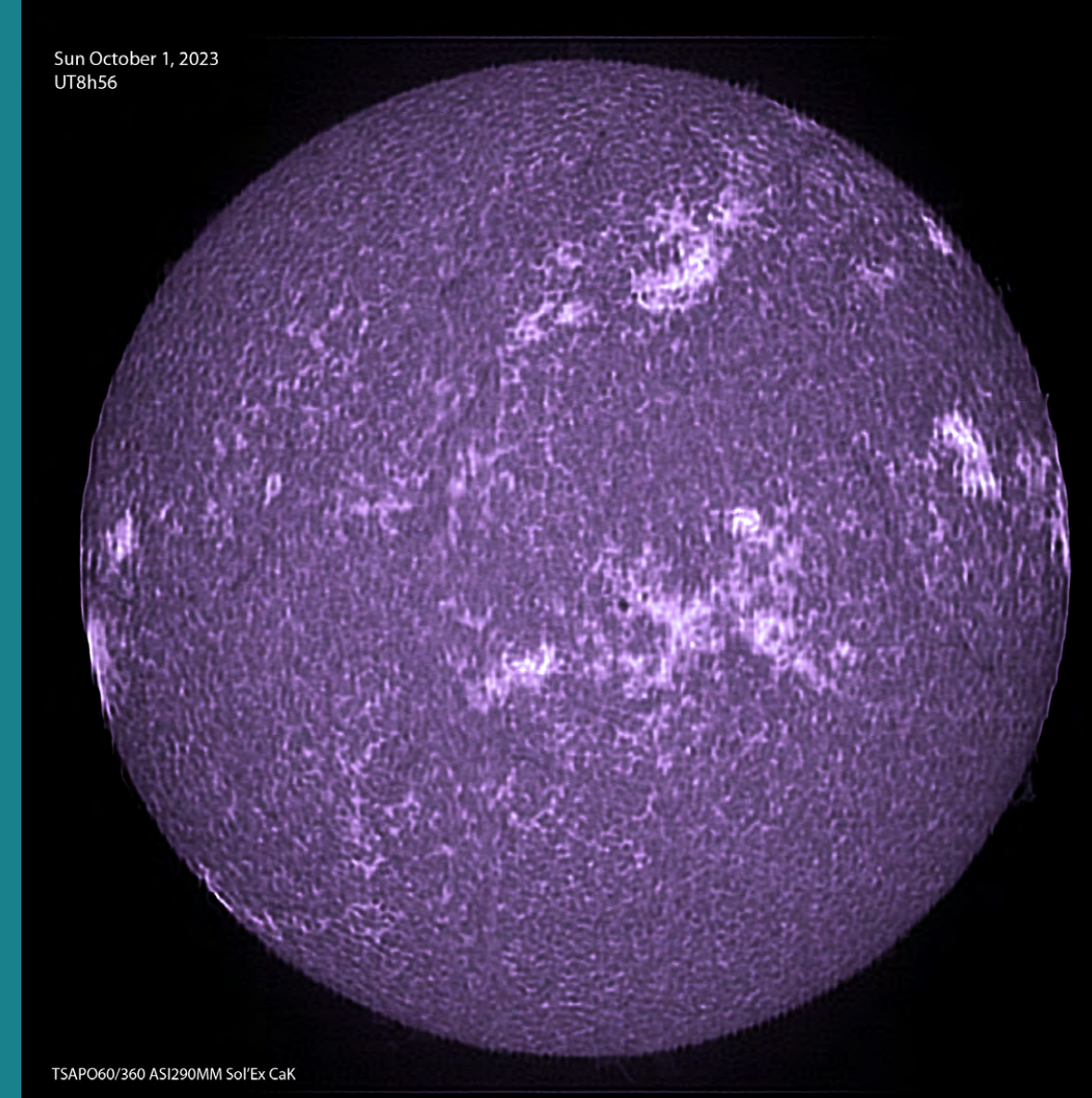
Pascal Hilkens Walter Swinnen Johan Luyckx

# Agenda

Sol'Ex werking en bouw  
Van opstelling tot foto  
Eerste ervaringen en resultaten  
En ... wat hebben we geleerd?

*Opgelet! Deze presentatie bevat formules.*

*Deze presentatie is gemaakt zonder Artificiële Intelligentie*



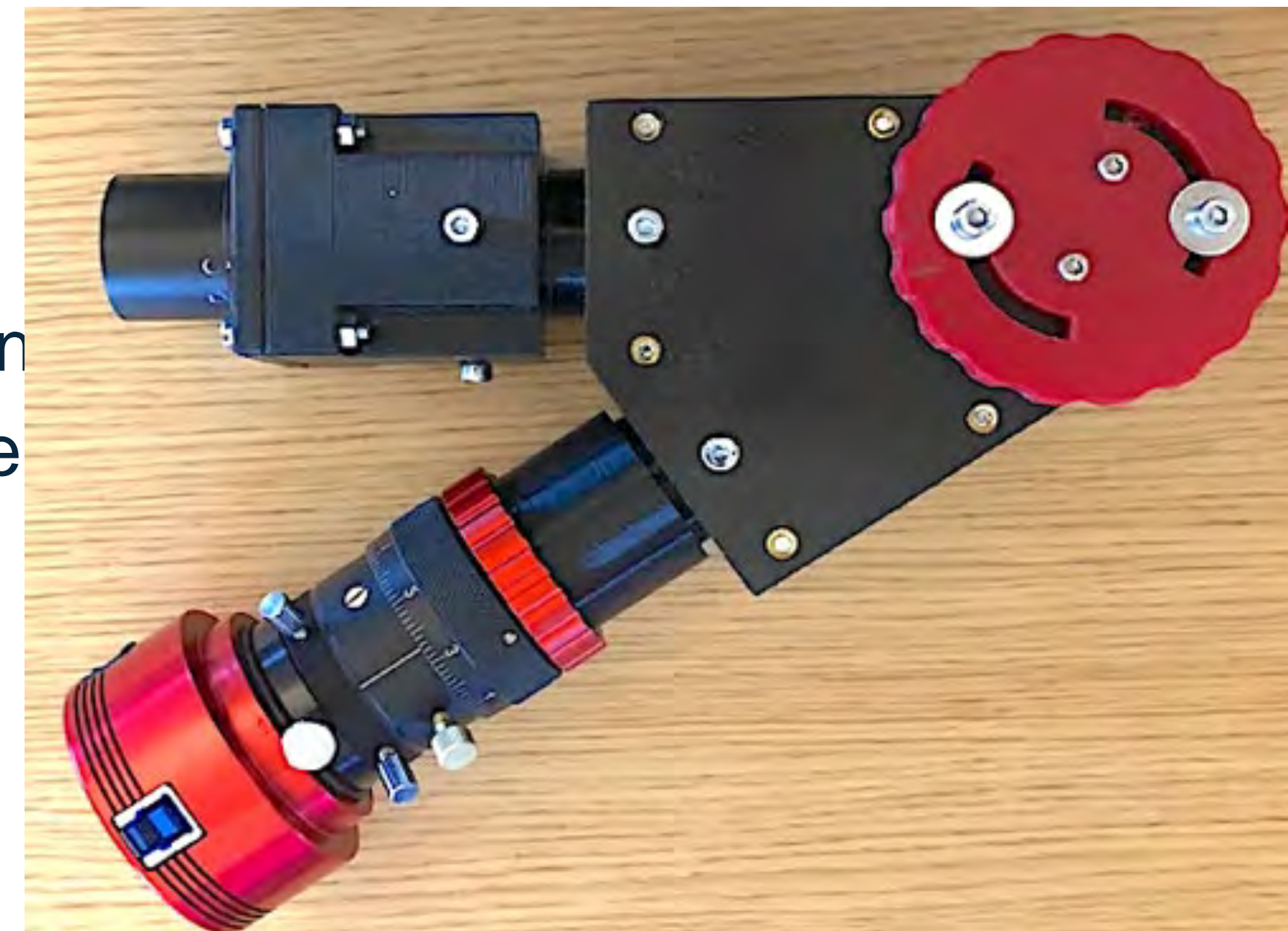
# Waarom Sol'Ex?

- Astrofotografiedag 2023: “Heeft er iemand ervaring met Sol'Ex?”
- Relatief goedkoop alternatief voor duurdere H-Alfa kijkers en Ca K-H filters
- DIY zelfbouwpakket (3D prints en optiek via Shelyak Instruments)
- “Recyclage” van bestaand instrumentarium zoals camera's, telescopen, ..
- Step change in resolutie
- Eerste stappen in spectroscopie
- Beschikbaarheid van documentatie, instructiemateriaal alsook een actief forum

# Sol'Ex : Maar wat is het?

Sol'Ex is een **Spectroheliograaf**, afgekort SHG. Het is een apparaat dat is uitgevonden door de astronoom George Ellery Hale in 1891 om de zon in monochromatisch licht te kunnen observeren. Het apparaat bestaat uit een combinatie van een telescoop, een spectroscop en een camera en laat toe om licht van de zon in één golflengte waar te nemen

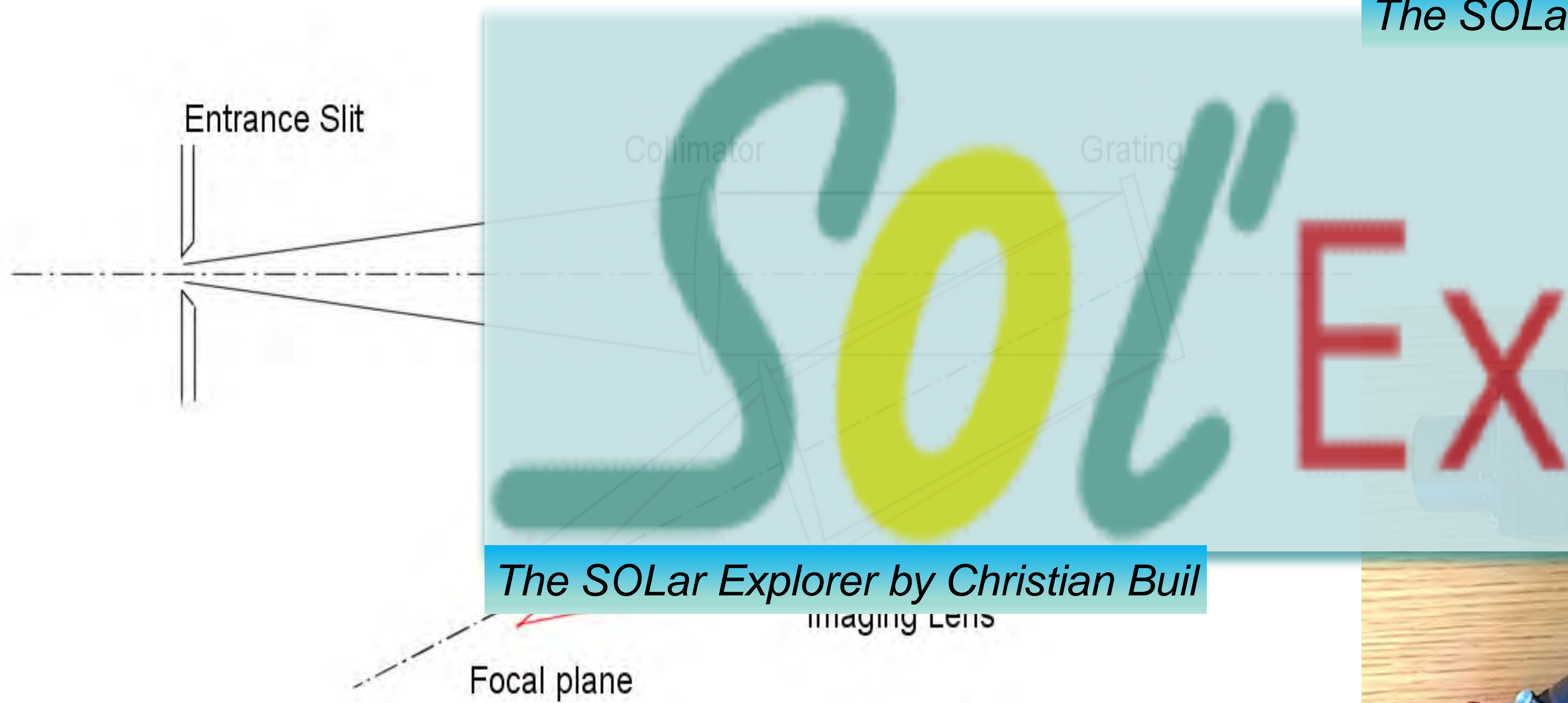
Sol'Ex is een constant-deviation monochromator. De hoek tussen het inkomend en gereflecteerd licht blijft altijd constant. Door het diffractierooster te draaien verkrijgen we telkens een andere golflengte.



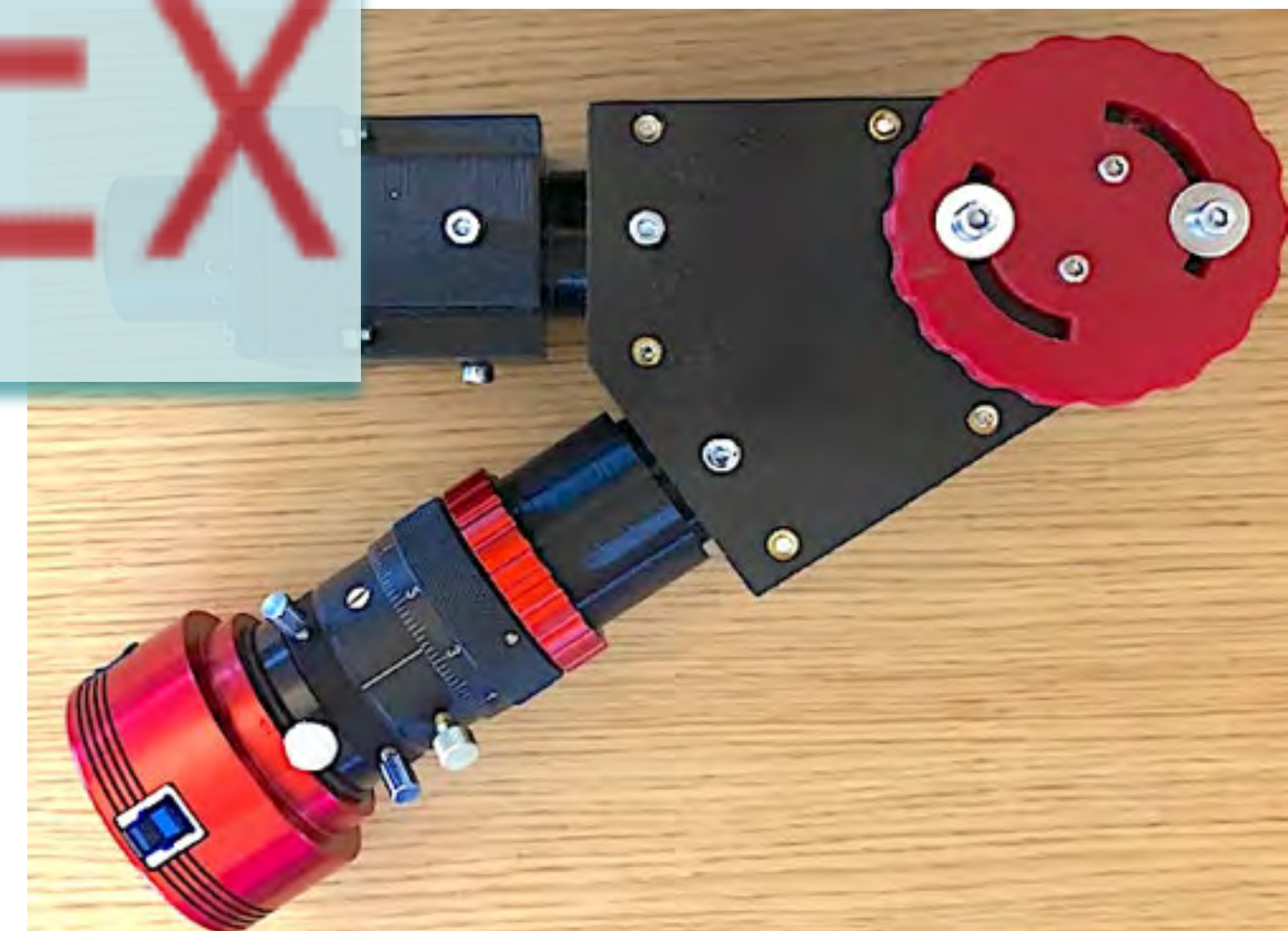
# Sol'Ex Werking



*The SOLar Explorer by Christian Buil*



*The SOLar Explorer by Christian Buil*



# Sol'Ex 3D Prints

Stap 0 : Download STL tekeningen van 3D onderdelen

([http://www.astrosurf.com/solex/download/stl\\_solex\\_v2.zip](http://www.astrosurf.com/solex/download/stl_solex_v2.zip))

Stap 1 :

- Onderdelen printen in PLA met een Ultimaker 2+.
- Doel : zicht krijgen op het project en zijn de printen voldoende maatnauwkeurig om geassembleerd te kunnen worden ?
- Resultaat : goede maatnauwkeurigheid na bijschuren; schroefdraad collimator vroeg aanpassing.

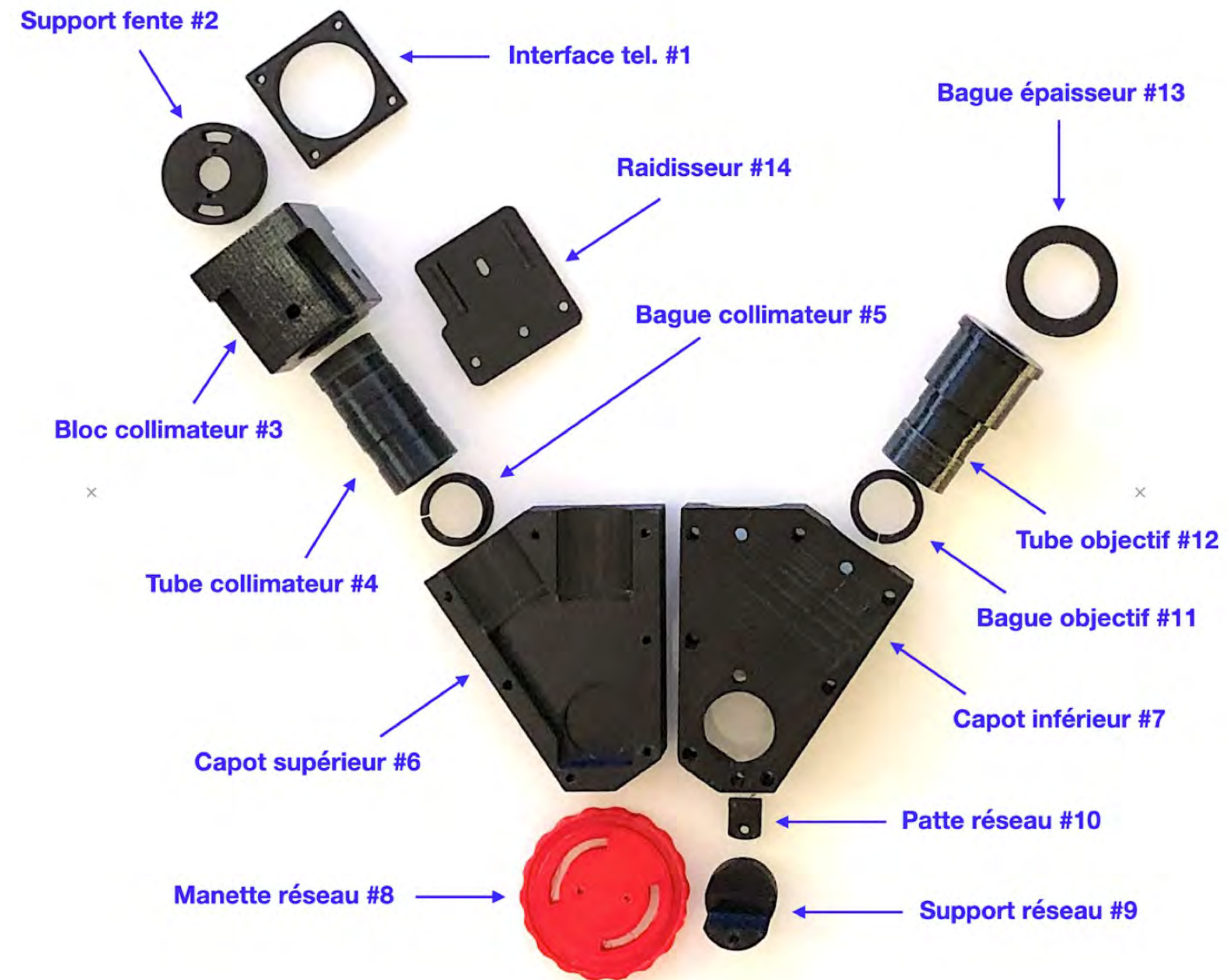
Stap 2 :

- Printmateriaal testen op IR-lekkage. Drie proefprinten van het onderdeel 'Tube objectif' zijn getest op IR-lekken : PLA 20% infill, PETG 30% infill, PETG 100% infill.
- Resultaat : Alle drie gaven ze geen IR-lekken.
- Besluit : we gaan voor PETG 30% infill omdat dit voldoende opaak, stijf en sterk is, maar toch niet te zware prints geeft (PLA zou zeker gaan vervormen bij langere blootstelling aan de zon).





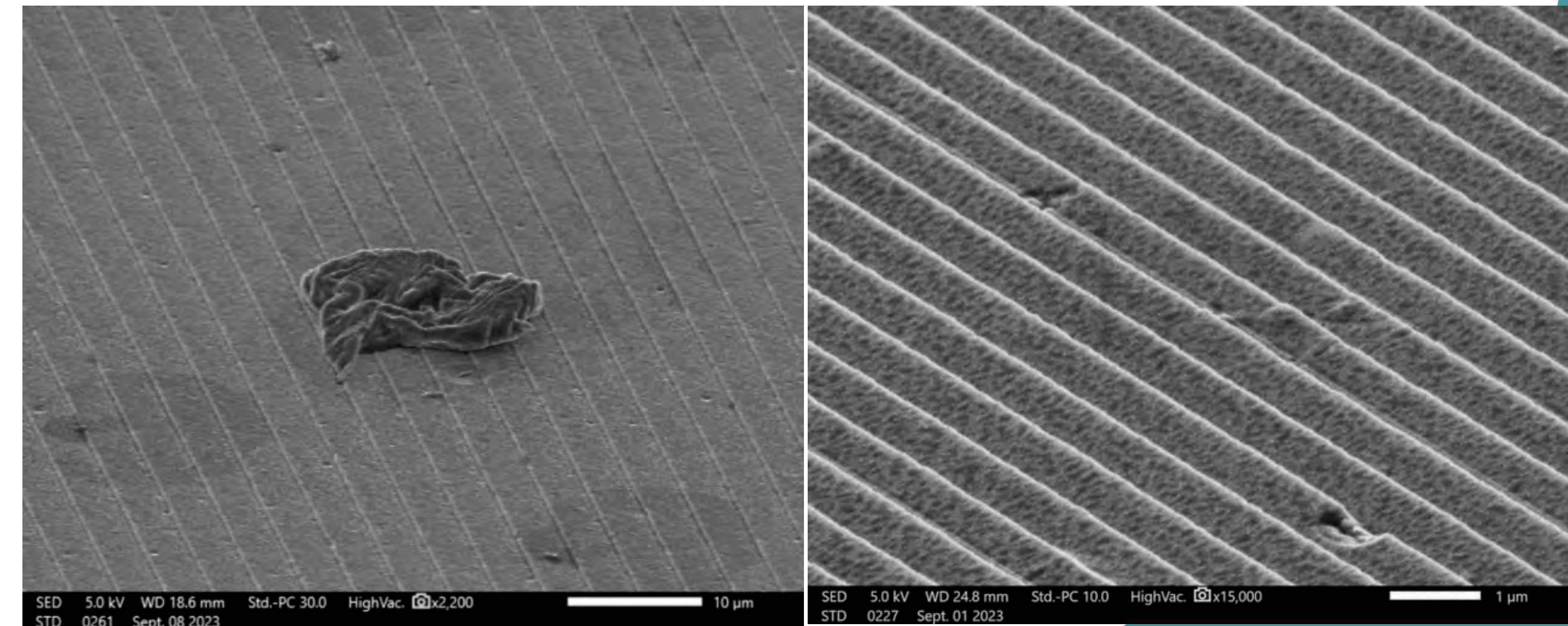
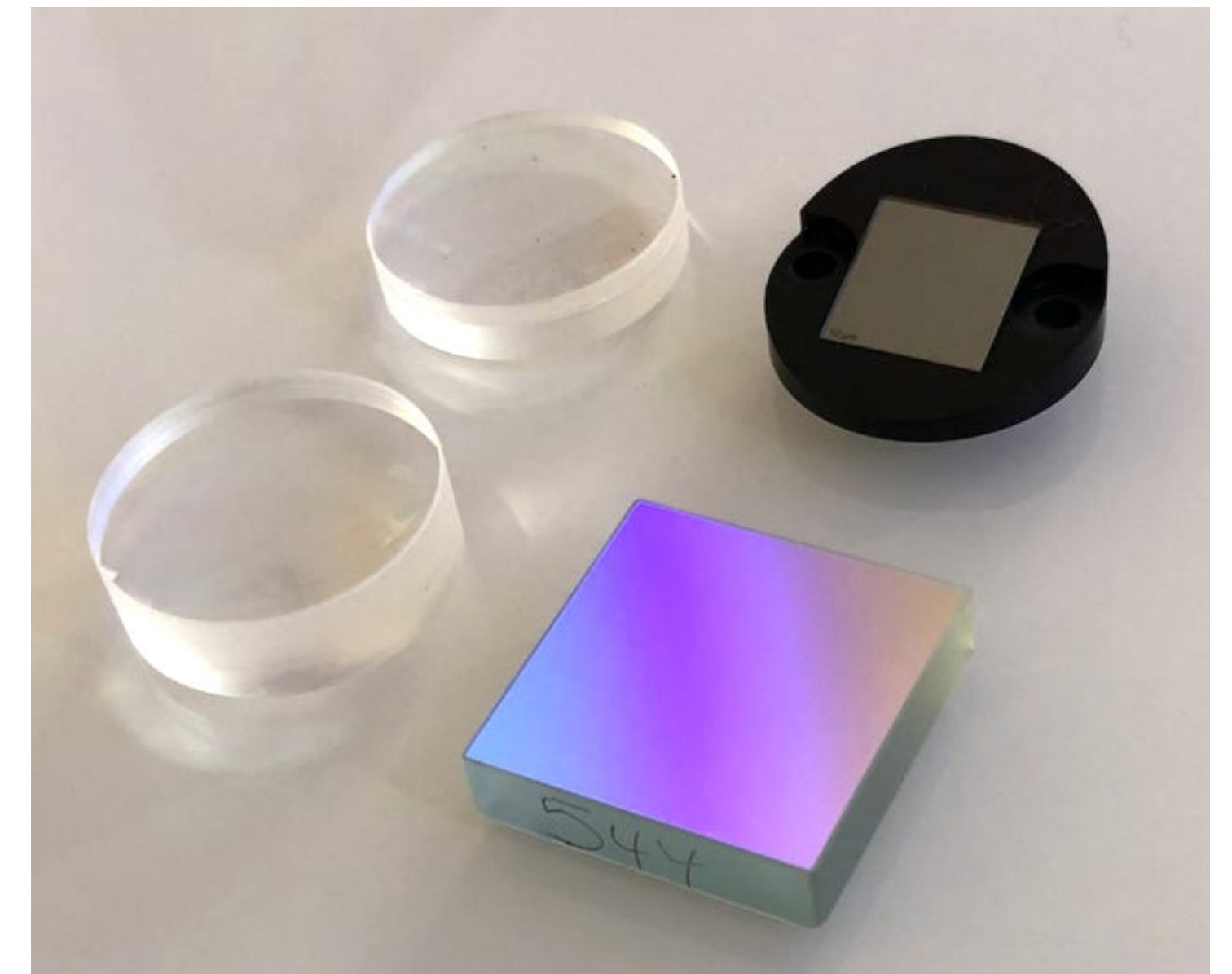
# Sol'Ex 3D Prints



# Sol'Ex Optische Specs

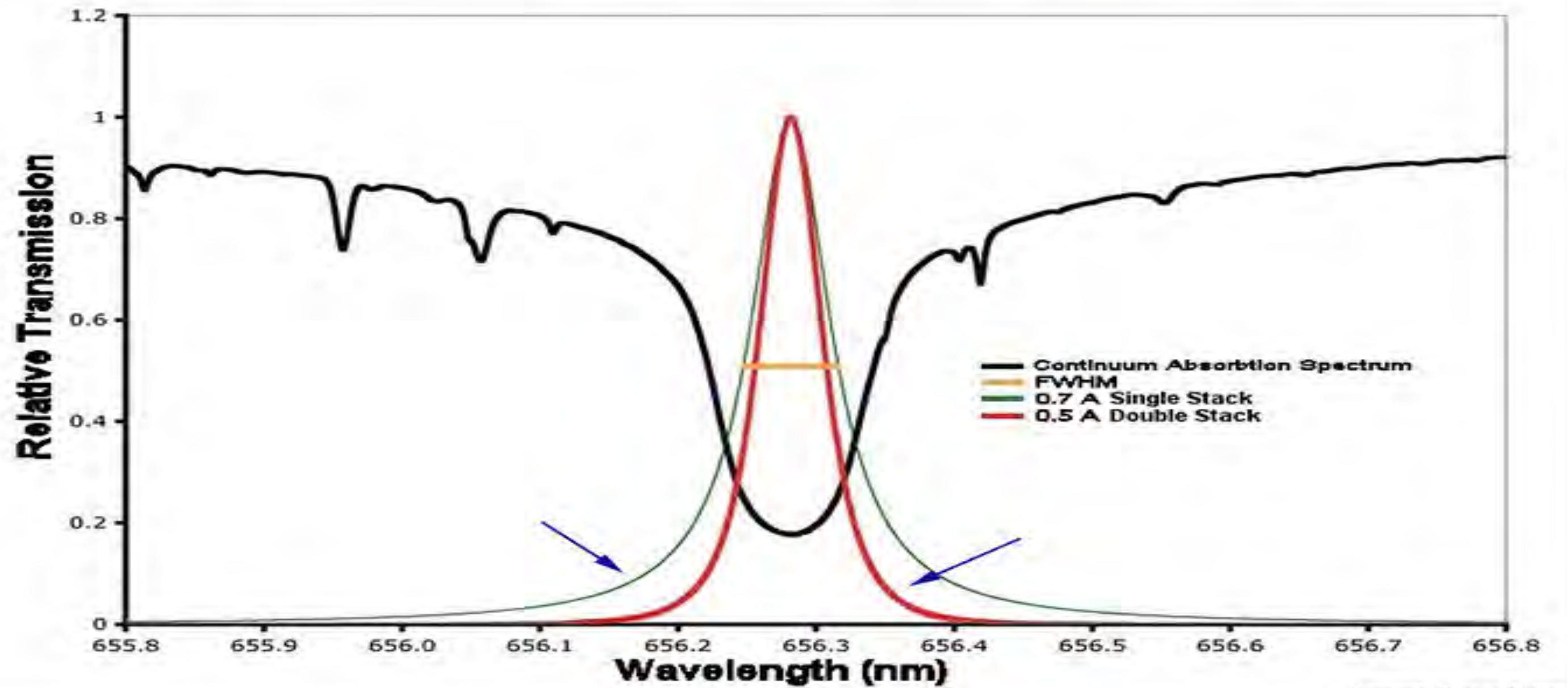
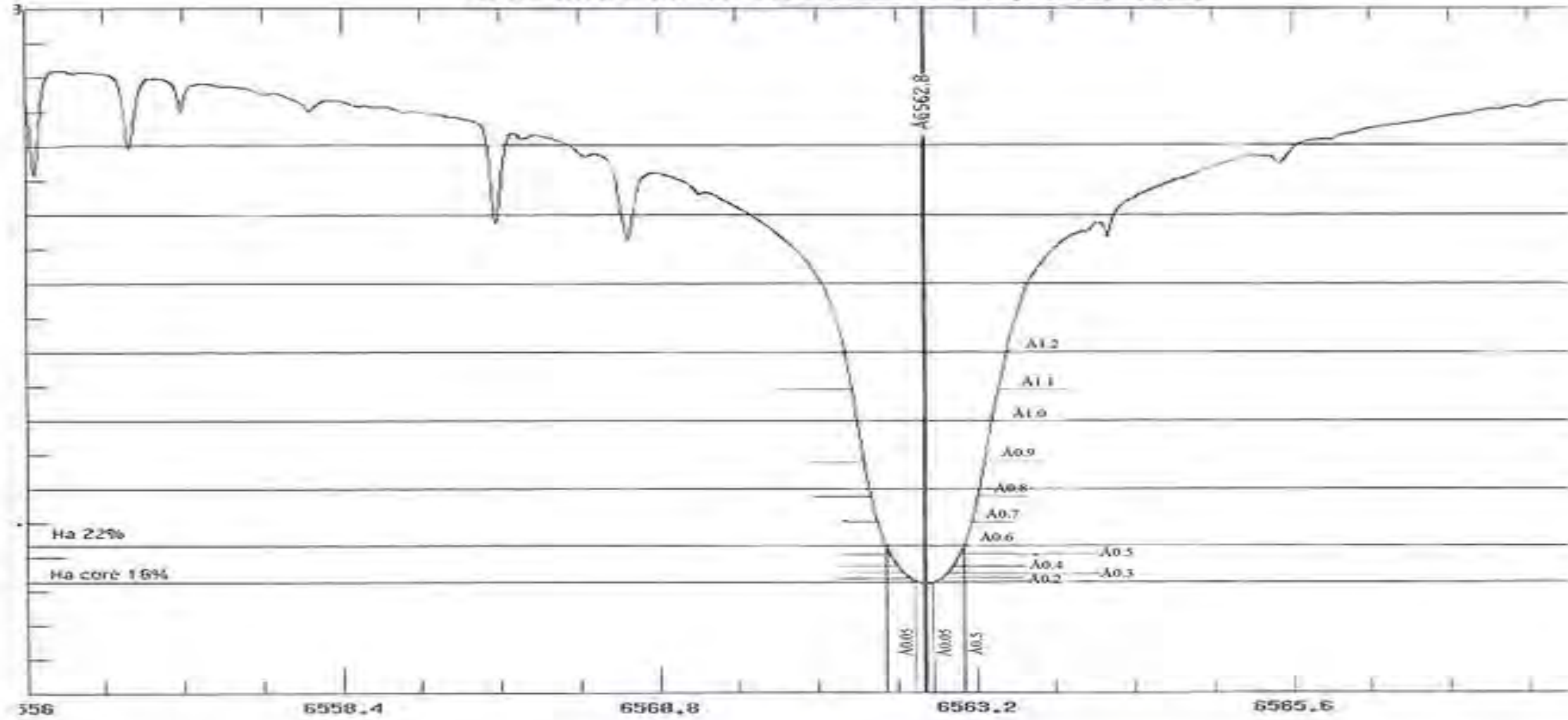
Beschikbaar via Shelyak Instruments

- achromatische doublet lens van 80mm brandpunt en 25.4mm diameter. Deze lens heeft de functie als collimator.
- achromatic doublet lens met een brandpunt van 125mm en een diameter van 25.4mm. Deze lens heeft de functie van een camera lens.
- holografisch blazed (eerste orde) reflectie diffractierooster met een densiteit van 2400 lijnen per millimeter en met een afmeting van 25x25mm en 6mm dik.
- smalle slit in chroom en glas, de hellingshoek bedraagt 30°. De breedte van de slit is 10micron met een hoogte van 4.5mm.



# Hydrogen alpha filter bandwidths

SOLAR ATLAS (after Delbouille et al., 1972, 1981)



'George9' Cloudy Nights

Verschillende  
technologieën  
Bandpass filters  
Fabry-Perot filters  
Spectro...

Hoe smaller de bandbreedte aan de  
basis,  
hoe minder fotosferisch licht en  
hoe hoger het contrast.

# Telescopen en Camera's

- TS ED70/420 f/6 met ASI178MM (Walter)



- TS APO60/360 f/6 met ASI290MM (Pascal)



Planetary Imaging
DSO Imaging
SONY IMX178 Sensor
6.4MP 3096x2080 Resolution
2.4µm Pixel Size
1/1.8" 7.4x5.0mm Sensor Size
8.92mm Sensor Diagonal
AR Protect Window
60 FPS Capture Speed
Rolling Shutter
1.4 - 2.2e Read Noise
TBD QE %
15000e Full Well Capacity
14 bit ADC

Planetary Imaging
DSO Imaging
SONY IMX290 Sensor
2.1MP 1936x1096 Resolution
2.9µm Pixel Size
1/3" 5.6x3.2mm Sensor Size
6.46mm Sensor Diagonal
AR Protect Window
170 FPS Capture Speed
Rolling Shutter
1.0 - 3.2e Read Noise
80% QE %
14600e Full Well Capacity
12 bit ADC

# Sol'Ex Versies

Met helical focusser (Walter & Pascal)

Met voorfilter Hoya 1,2 (Walter & Pascal)

Met Herschel Wedge met Brewster Angle zonder ND filter. Opgelet gebruik geen Quadruplet of Petzval scopes (Pascal)



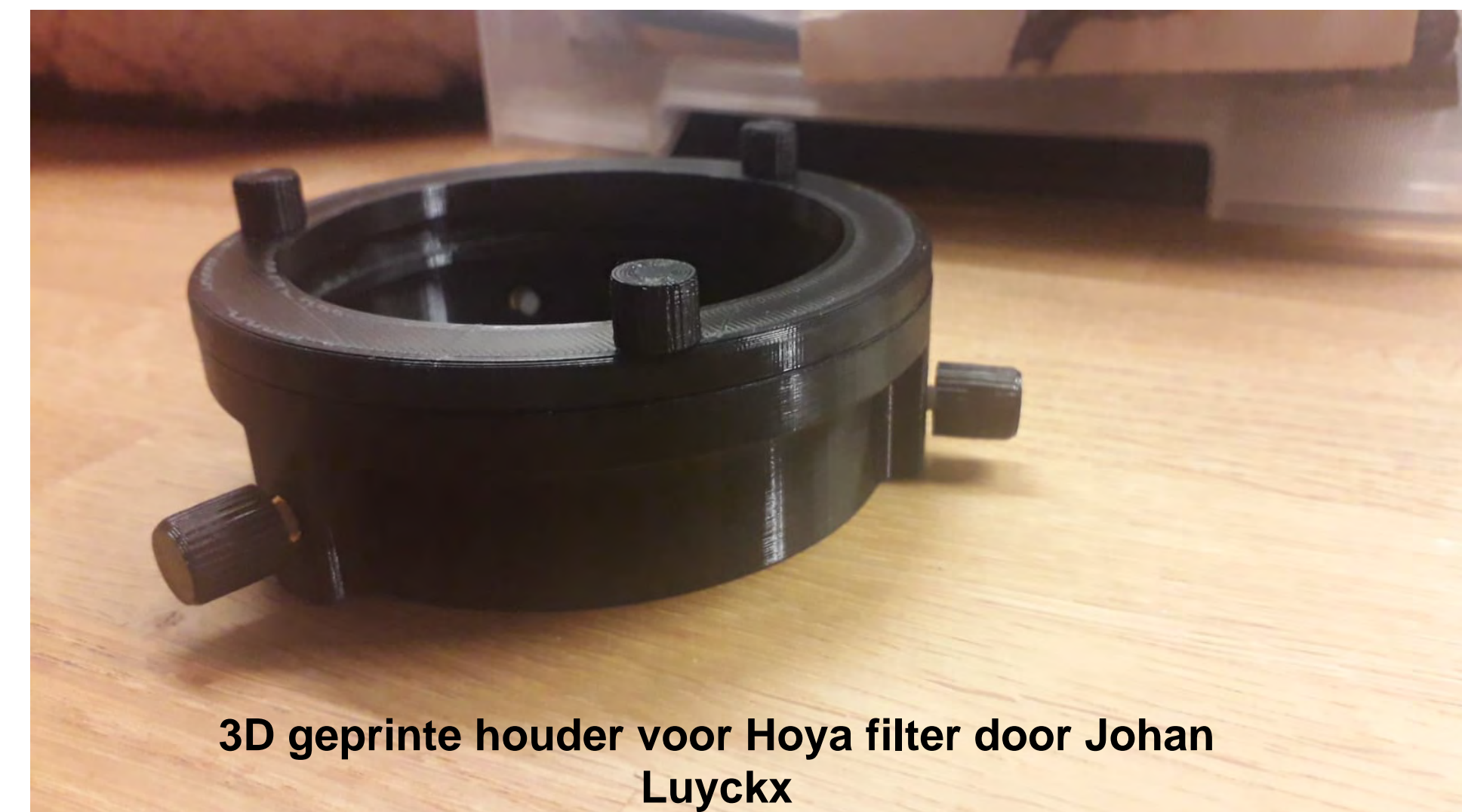
Notation				Lens area opening, as fraction of the complete lens	f-stop reduction	Fractional transmittance	
Optical density	ND1number	ND.number	NDnumber				
0.0				1	0	100%	1
0.3	ND 101	ND 0.3	ND2	1/2	1	50%	0.5
0.6	ND 102	ND 0.6	ND4	1/4	2	25%	0.25
0.9	ND 103	ND 0.9	ND8	1/8	3	12.5%	0.125
1.2	ND 104	ND 1.2	ND16	1/16	4	6.25%	0.0625
1.5	ND 105	ND 1.5	ND32	1/32	5	3.125%	0.03125
1.8	ND 106	ND 1.8	ND64	1/64	6	1.563%	0.015625
2.0		ND 2.0	ND100	1/100	6 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	1%	0.01
2.1	ND 107	ND 2.1	ND128	1/128	7	0.781%	0.0078125
2.4	ND 108	ND 2.4	ND256	1/256	8	0.391%	0.00390625
2.6			ND400	1/400	8 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	0.25%	0.0025
2.7	ND 109	ND 2.7	ND512	1/512	9	0.195%	0.001953125
3.0	ND 110	ND 3.0	ND1024 (also called ND1000)	1/1024	10	0.1%	0.001
3.3	ND 111	ND 3.3	ND2048	1/2048	11	0.049%	0.00048828125
3.6	ND 112	ND 3.6	ND4096	1/4096	12	0.024%	0.000244140625
3.8		ND 3.8	ND6310	1/6310	12 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	0.016%	0.000158489319246
3.9	ND 113	ND 3.9	ND8192	1/8192	13	0.012%	0.0001220703125
4.0		ND 4.0	ND10000	1/10000	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0.01%	0.0001
5.0		ND 5.0	ND100000	1/100000	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	0.001%	0.00001

Hoya Walter

Standaard in Herschel wedge

fotografisch veilig

Visueel veilig



3D geprinte houder voor Hoya filter door Johan Luyckx

# Opstelling



# Uitlijning en opstelling

- Uitlijning Sol'Ex
  - Uitlijning zonder telescoop:
    - Slit "nulde" orde centreren in beeld
    - Spectrumlijnen scherpstellen met helical focusser en positie camera
    - Slitrand scherpstellen door afstand collimator (blok met slit) te verschuiven
  - Uitlijning met telescoop en zon in beeld
    - Rand van het zonnebeeld scherpstellen met telescoop focusser
    - Spectrumlijnen scherpstellen met helical focusser
- Opstelling Telescoop:
  - Equatoriale opstelling, noord-zuid positie
  - Telescoop moet zon goed kunnen volgen, anders zon altijd uit beeld
  - Dempvrije opstelling van de telescoop
  - Sol'Ex tilt  $0^{\circ(a)}$ , Sol'Ex parallel in het equatoriaal vlak, slit loodrecht op dit vlak

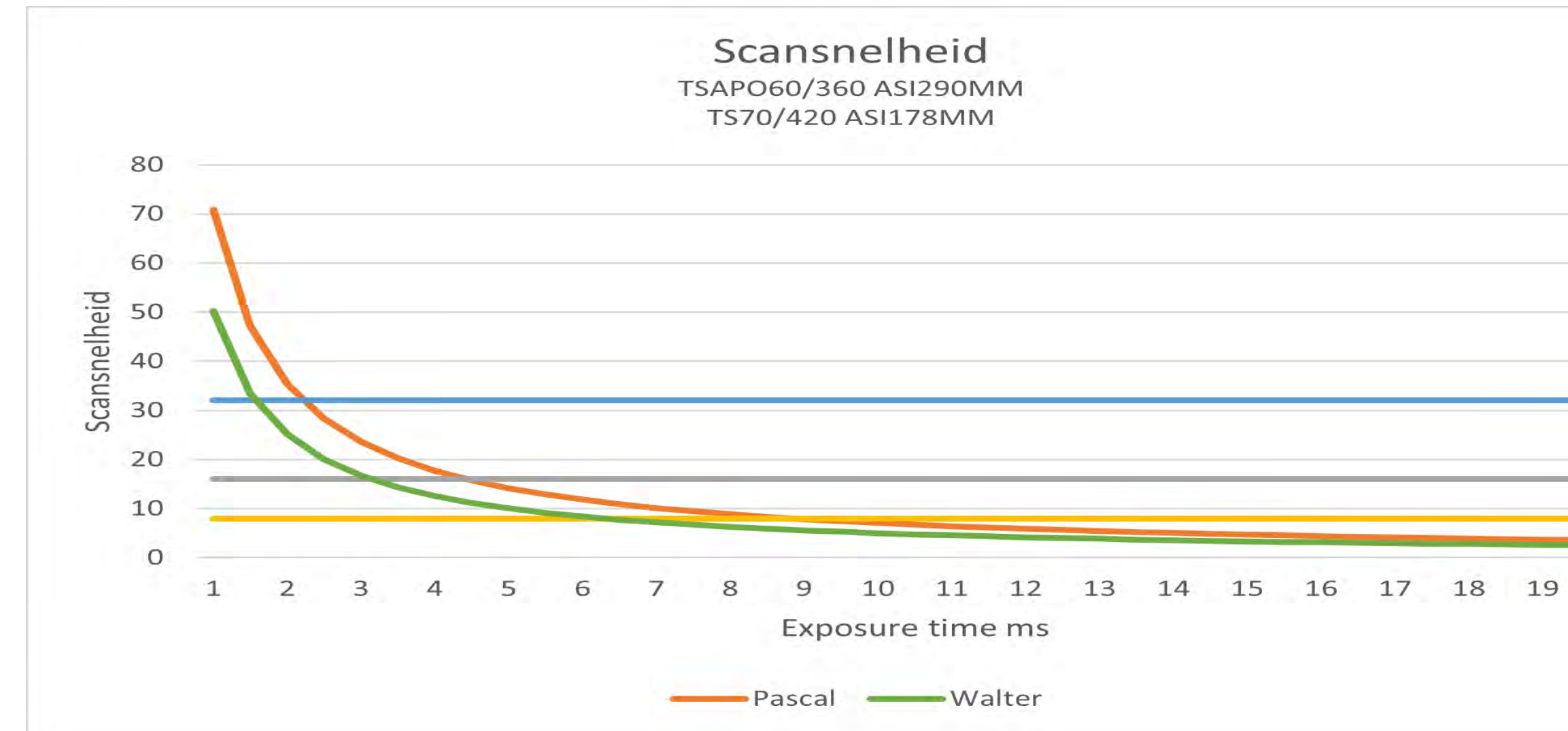
```
_10_10_27_log.txt - Kladblok
Bestand  Bewerken  Opmaak  Beeld  Help
D:/SharpCap T7/2023-10-01/SOlex/10_10_27.ser
Width and Height of SER frames : 1936,276
Number of frames : 1647
SER date UTC : "2023-10-01T08:10:27.9420167"
SER date local : "2023-10-01T10:10:27.9420167"
Mean Image - Vertical limits y1,y2 : 117 1905
Coef a*x2,b*x,c : 2.3594e-05 -6.4168e-02 204.00

...center image...
Vertical limits y1,y2 : 112 1911
Tilt angle : -0.5088
Scaling SY/SX : +2.0782
Final SY/SX : +0.999
Correction angle : -0.24485560028859657
P angle used : 0.0
xc,yc center and radius : 1634 1017 899
xcc,ycc center and radius : 1018 1018 899
```

(a) Tilt veranderen door Sol'Ex in haar geheel te verdraaien. Inti berekent tilt en schrijft deze in log.tx. ... - 9

# Opname Software & Specs

- Opname Specs
  - Mono camera
  - Mono 16bit (voorwaarde voor Inti, SHG-main)
  - Siderische snelheid x4, x8 of x16 en/of binning 2x2
  - Ser files
  - Gebruik van SSD schijf voor optimale transmissie



Berekening van de exposure tijd t ifv scansnelheid v 4,8,16,...

$$T = 8,79 * p / (f * v * \cos(\delta))$$

T= exposure time in s

P= pixelgrootte in micron; binning is mee op te nemen in de berekening

F = brandpunt van telescoop in mm

V = opname of snansnelheid, typisch 4,8,16x de siderische snelheid

Delta = declinatie van de zon op tijdstip opname. Kan berekend worden met volgende formule waarbij d= dag van het jaar

The following table lists the available speeds:

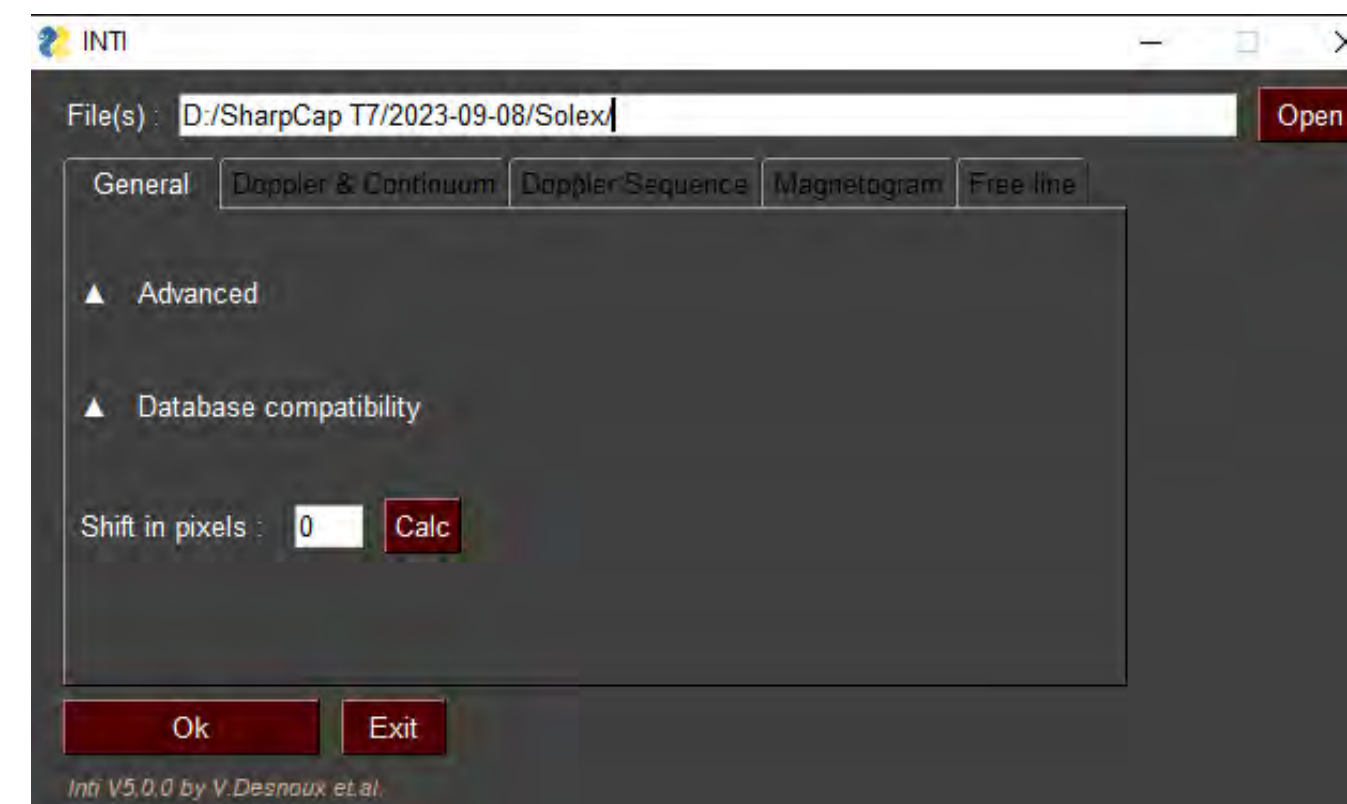
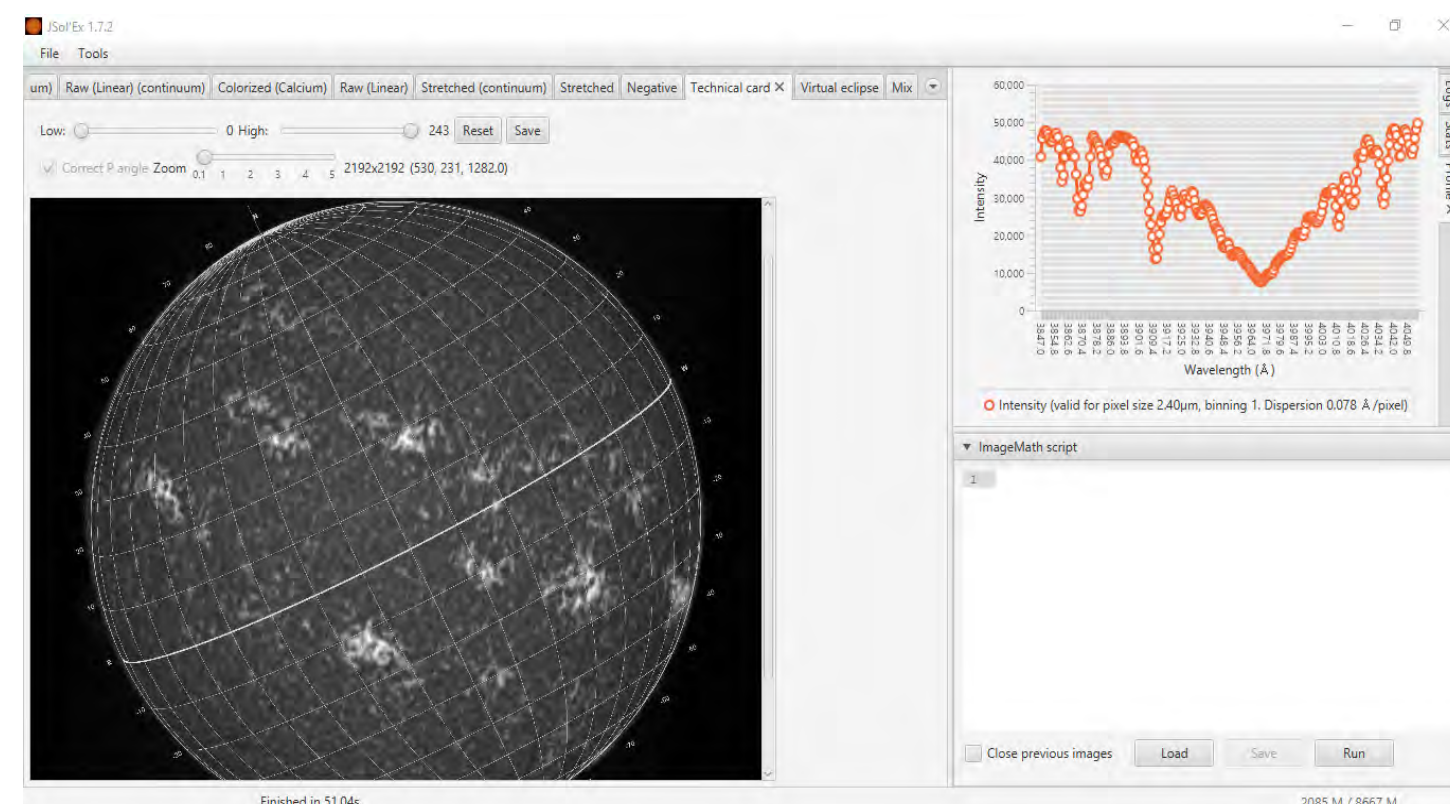
Rate	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Speed <sup>1</sup>	0.5X <sup>2</sup>	1X <sup>3</sup>	8X	16X	32X	64X	128X	400X	600X	Max <sup>4</sup>

$$\delta = -23.45^\circ \times \cos\left(\frac{360}{365} \times (d + 10)\right)$$



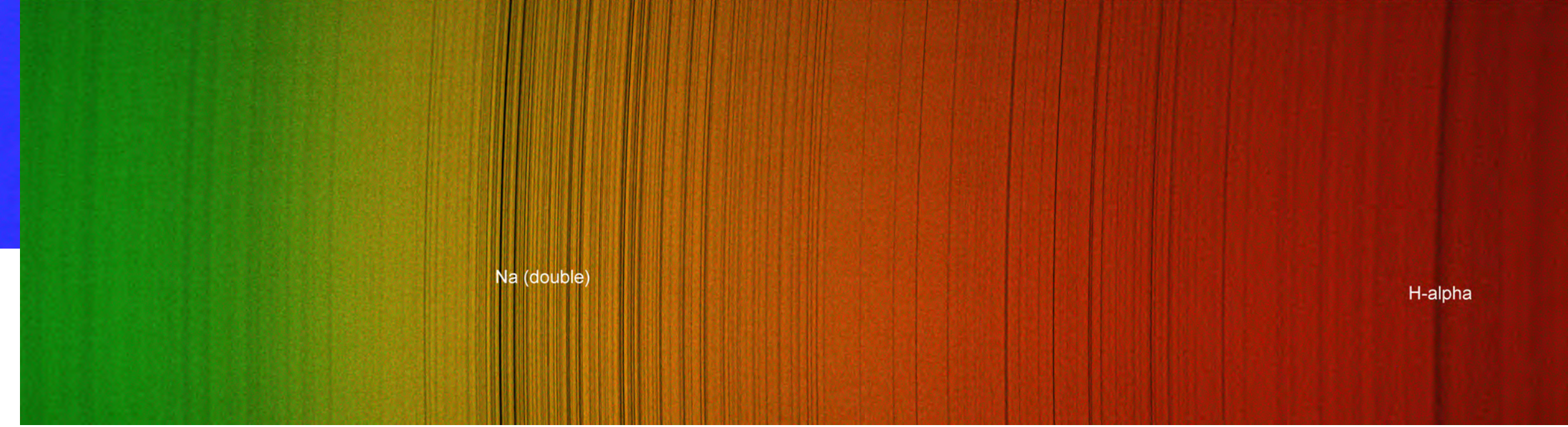
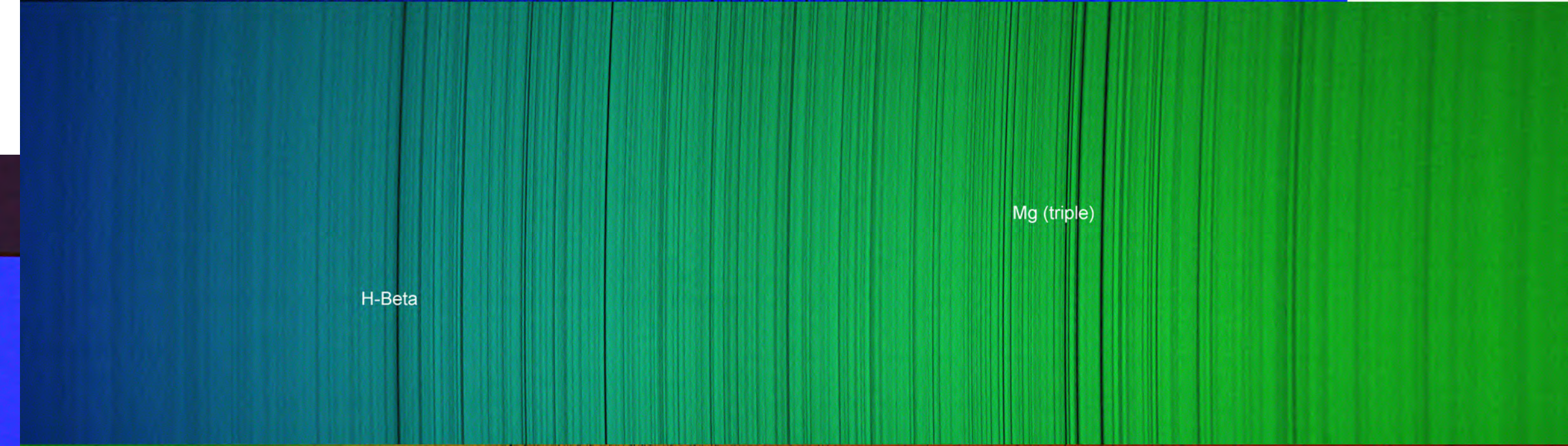
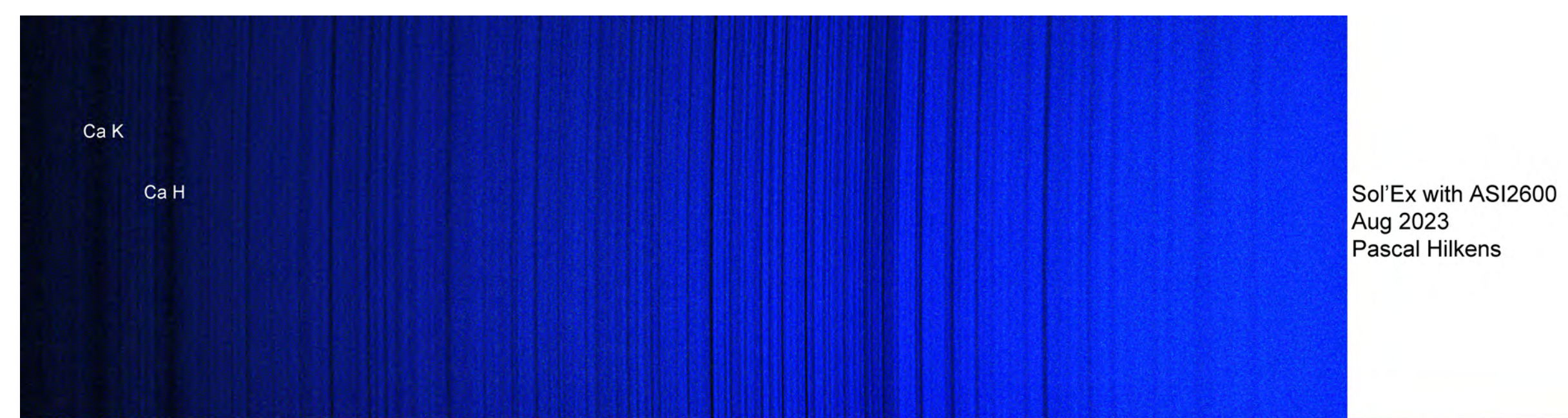
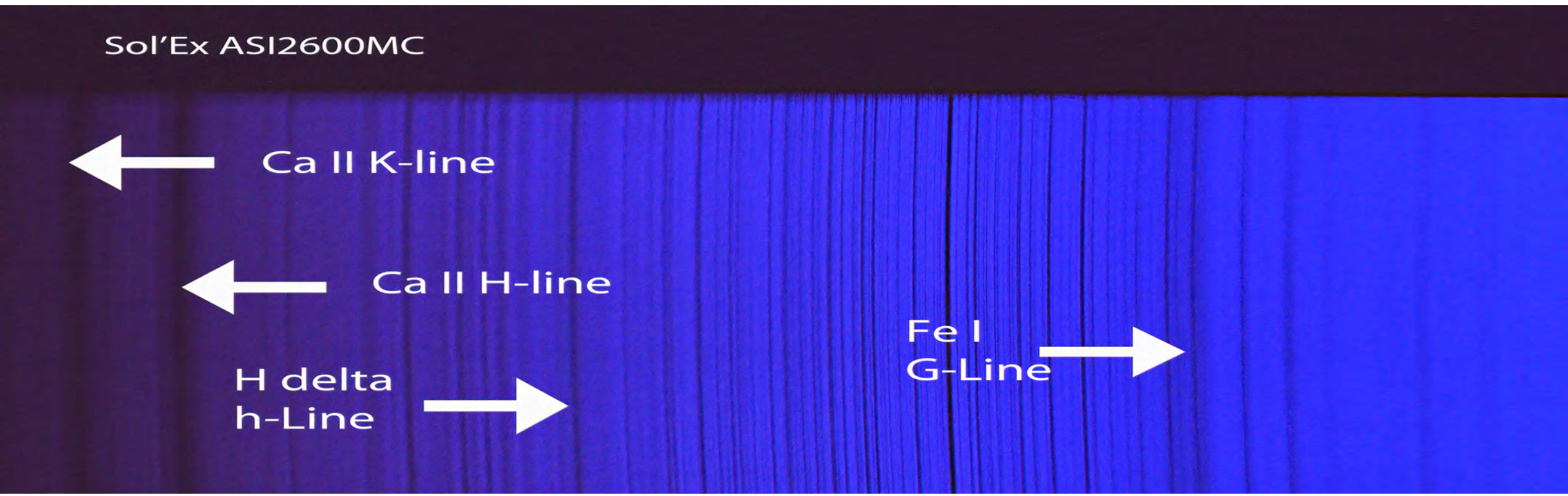
# Opname en bewerkings Software

- Software :
  - Opname Software **SharpCap 4**, FireCapture, ASIStudio,
  - Bewerkingssoftware **INTI**, **SHG\_Main**, **JSoI'Ex**, i-Spec, ISIS, ...
  - Editing **AstroSurface**, **CS4**, **IMPPG**, **Registax**, ...



# Spectrum (1/2)

SoI'Ex with ASI2600  
Aug 2023  
Pascal Hilkens



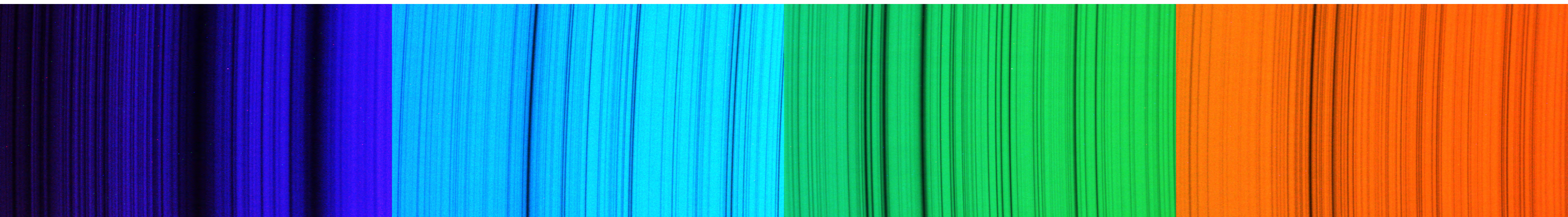
CaK

CaH

H-Beta

Mg Triplet

Na I (D1&D2)



# Spectrum (2/2)

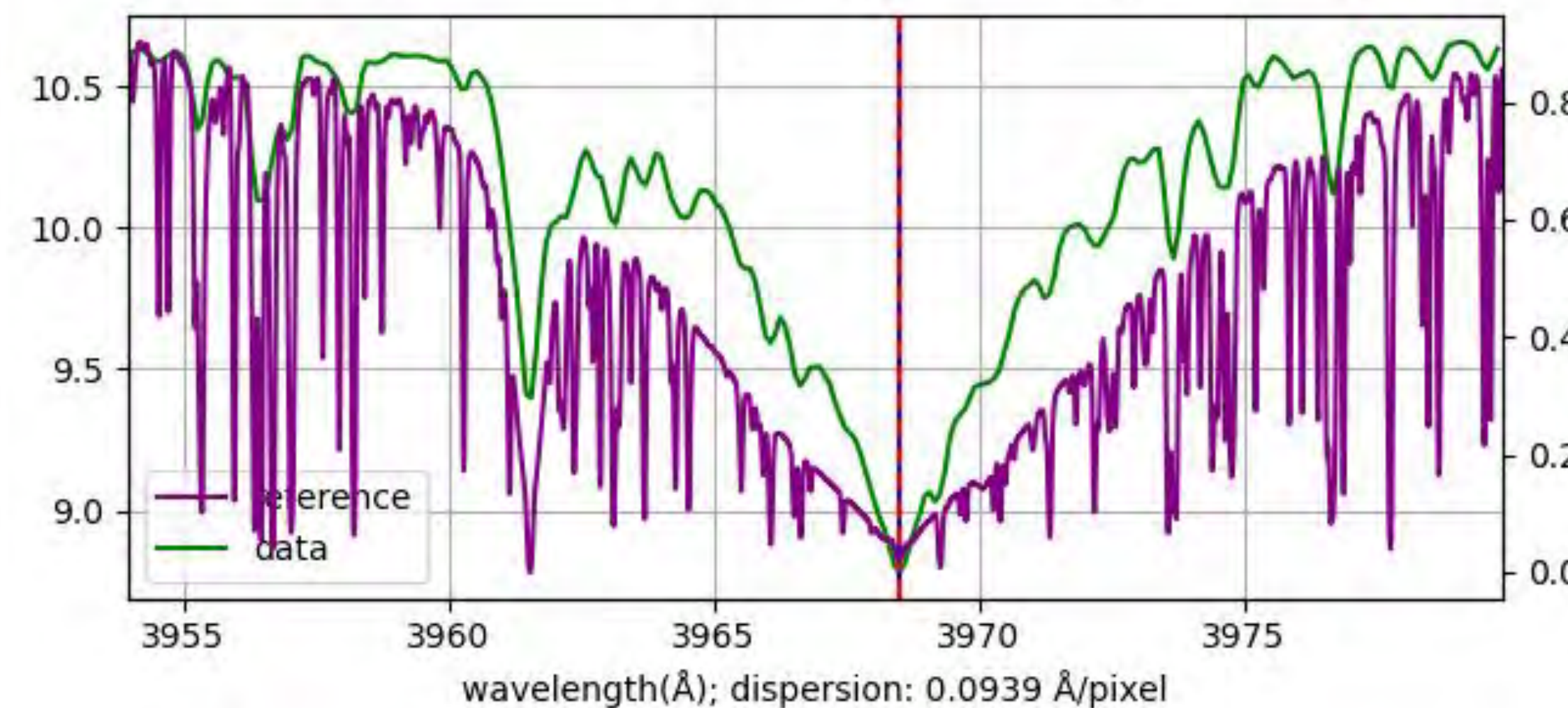
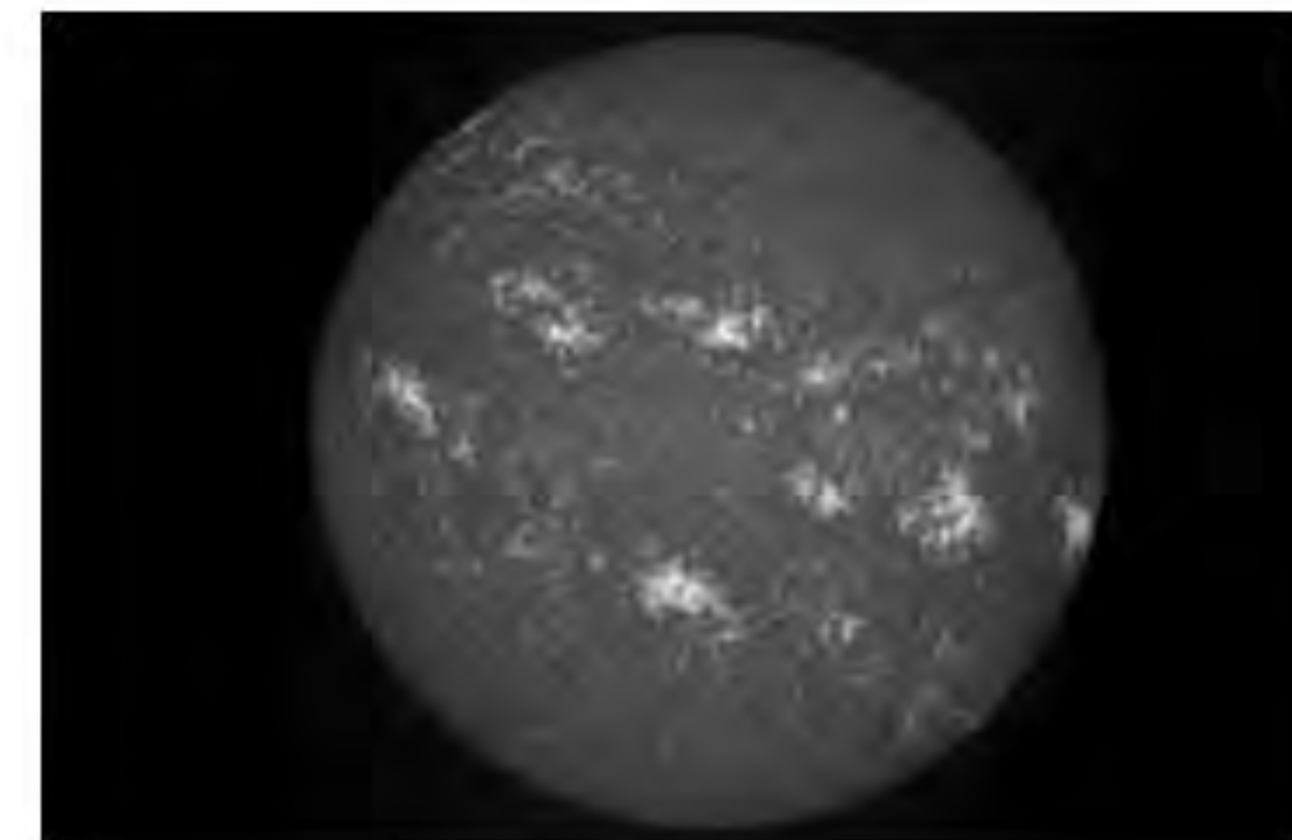
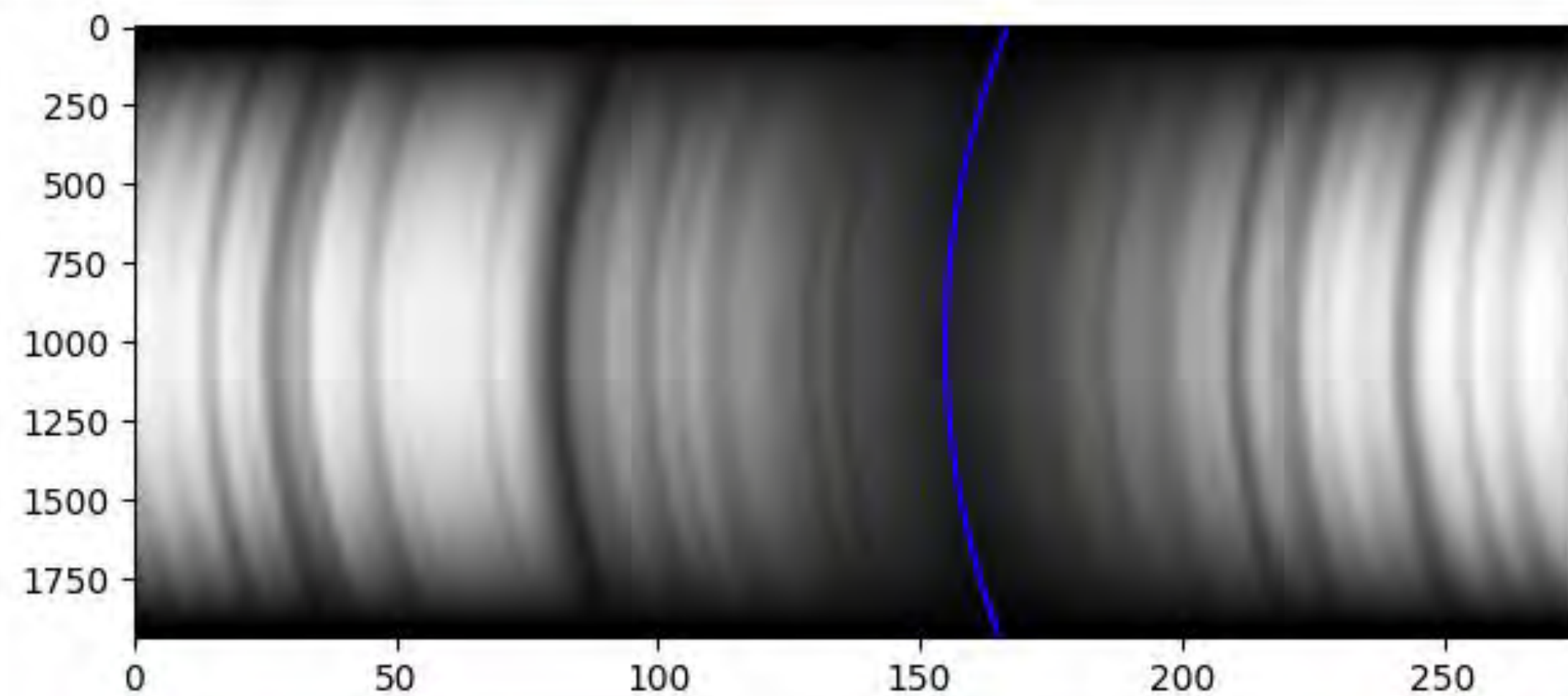
Name	Wavelength (Å)	Source
A-band	7594–7621	Atmospheric O <sub>2</sub>
B-band	6867–6884	Atmospheric O <sub>2</sub>
C	6563	H $\alpha$
a-band	6276–6287	Atmospheric O <sub>2</sub>
D1	5896	Na I
D2	5890	Na I
E	5269	Fe I
b1	5184	Mg I
b2	5173	Mg I
c	4958	Fe I
F	4861	H $\beta$
d	4668	Fe I
e	4383	Fe I
f	4340	H $\gamma$
G	4308	Ca/Fe (430.77/430.79)
g	4227	Ca I
h	4102	H $\delta$
H	3968	Ca II
K	3934	Ca II

Wavelength (Å)	Name	Wavelength (Å)	Name
3928	Fe I	4271	Fe I
<b>3934</b>	<b>CaII (CaK)</b>	4299	Fe I
3944	Al I	4308	Fe I
3951	Fe I	4323	CH
3953	Fe I	4324	CH
3957	Fe I	<b>4340</b>	<b>H<math>\gamma</math></b>
3961	Al I	4469	Ti
<b>3968</b>	<b>CaII (CaH)</b>	4554	Ba II
<b>3970</b>	<b>He</b>	4665	Fe I
3878	Fe I	4782	Mn
3987	Mg I	<b>4861</b>	<b>H<math>\beta</math></b>
3997	Fe I	4932	Ba
4005	Fe I	4956	Fe I
4031	Mn I	5036	Ni
4033	Mn I	<b>5167</b>	<b>Mg (Magnesium triplet)</b>
4034	Mn I	<b>5173</b>	<b>Mg</b>
4036	Mn I	<b>5184</b>	<b>Mg</b>
4046	Fe I	5270	Fe I
4055	Mn I	5328	Fe I
4057	Mg I	5455	Fe I
4064	Fe I	5456	Fe I
<b>4102</b>	<b>H<math>\delta</math></b>	5528	Mg
4119	Ca I	5614	Fe I
4132	Fe I	5707	Fe I
4144	Fe I	5709	Fe I/Ni I
4154	Fe I	5711	Mg
4167	Mg	5786	Cr
4173	Fe I	<b>5873</b>	<b>He (D3)</b>
4191	Fe I	<b>5890</b>	<b>NaI (Sodium doublet)</b>
4198	Fe I	<b>5896</b>	<b>Na I</b>
4202	Fe I	5948	Si I
4215	Sr II	6180	Ni
4227	Ca I	6279	O <sub>2</sub> (Atmos.)
4236	Fe I	6358	Zn
4247	Se II	6398	Fe I
4254	Cr I	6497	Ba II
4260	Fe I	<b>6563</b>	<b>H<math>\alpha</math></b>
		6847–6944	O <sub>2</sub> (Atmos)

File:

Anchor line:  GOTO line:  GOTO wavelength (Å):  Pixel shift:  Wavelength shift: 0.000Å

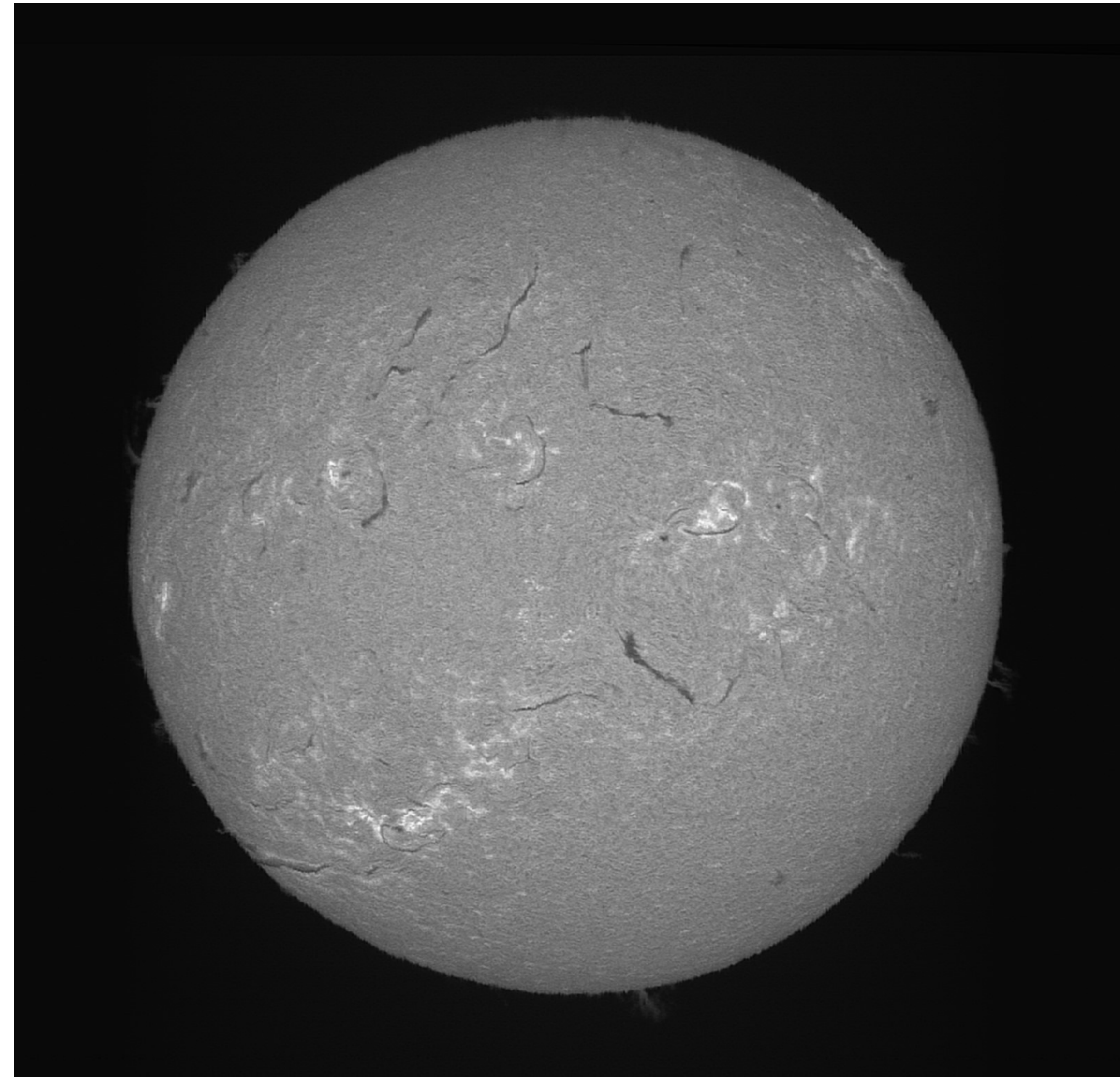
Dispersion (Å/pixel):



# Eerste resultaten (Walter)

Opname 19 augustus

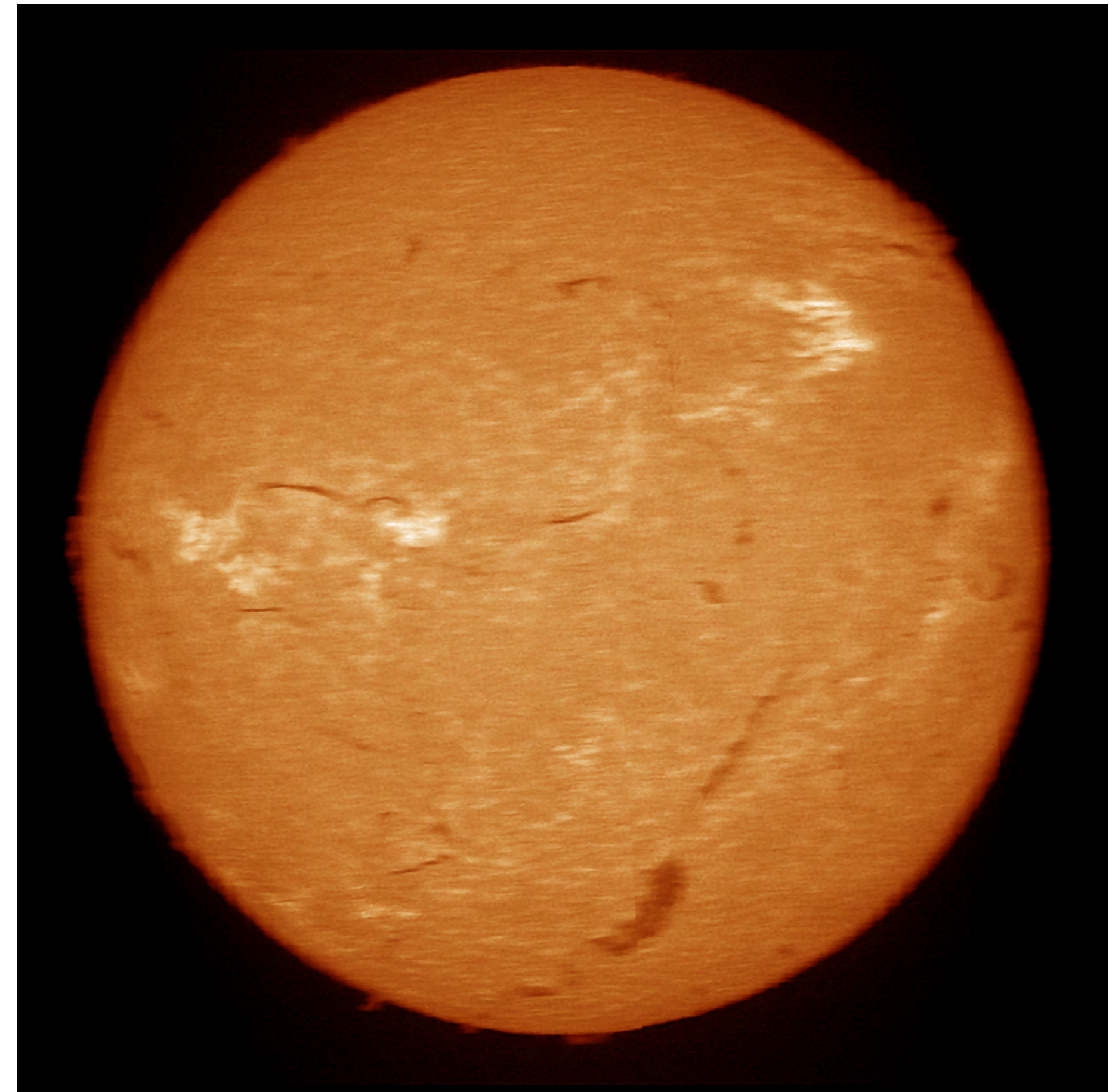
- H-alfa gebied
  - TS/ED70 f/6 met ASI178MM
  - 2,7920ms, Gain 102, Mono 16
  - Capture Area : 3096 x 500 binning 1x1
  - Filter: Hoya ND16
  - SharpCap4, Inti
- 
- Geslaagde, scherpe eerste opname
  - Opname niet helemaal in equatoriaal vlak



# Eerste resultaten (Pascal)

Opname 8 september

- H-alfa gebied
- TS/APO60 f/6 met ASI290MM
- 130fps, 7,55ms, Gain 0, Mono 16
- Capture area : 1936 x 114 binning 1x1
- Camera : 48°C, viel soms uit
- Filter: Hoya ND16
- SharpCap4, Inti, CS4, Samsung SSD
- Onscherp beeld: beter af te stellen
- Opname niet in equatoriaal vlak

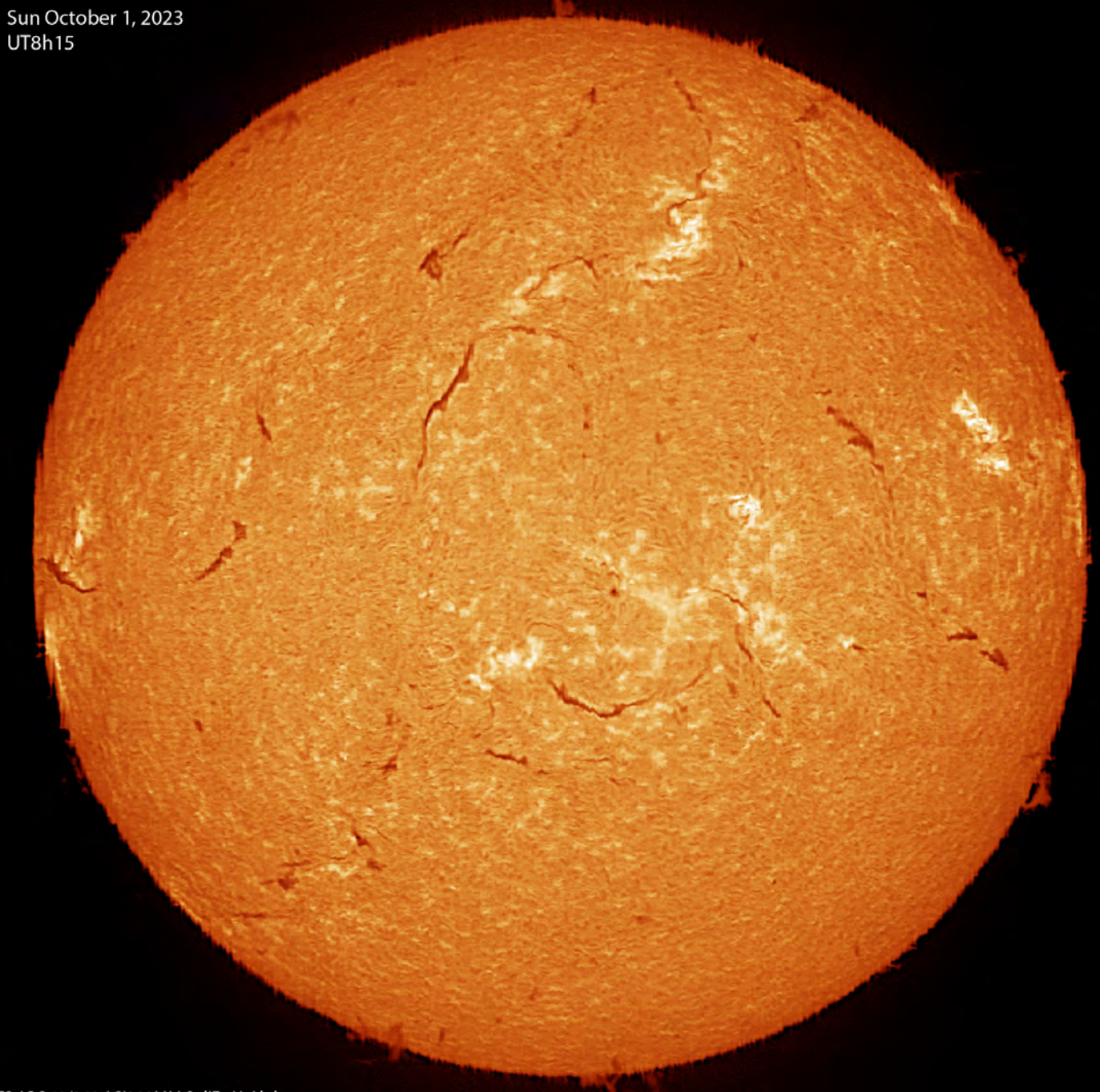


# Tweede resultaten (Pascal)

Opname 1 oktober

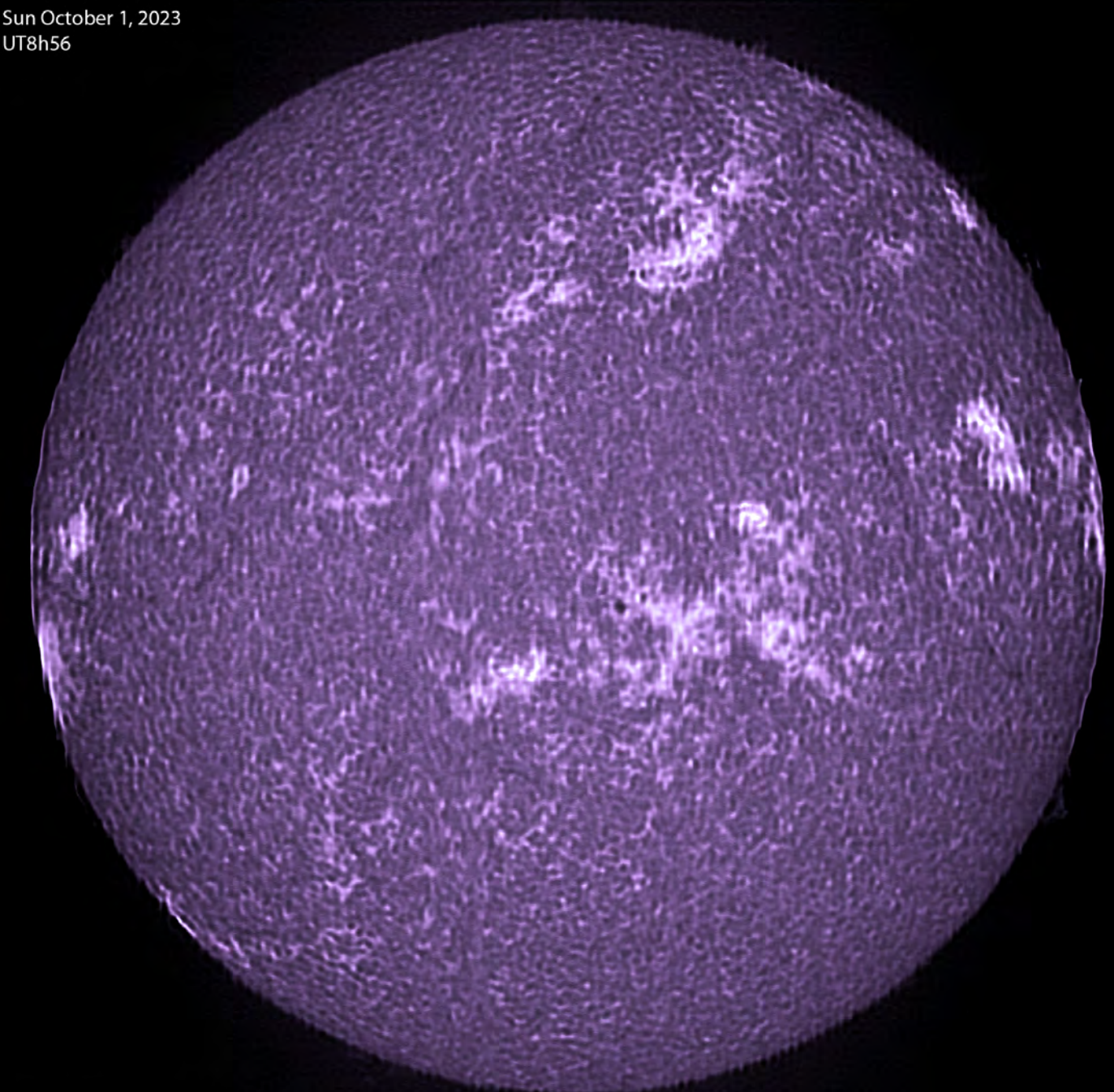
- Afstelling van de slitrand door verschuiven collimatorblok
- Opname in equatoriaal vlak met tilt  $-0,4^\circ$
- Opnamesnelheid rate 3 of x16; zaagtand effect
- Opnames in H-Alfa en CaII K

Sun October 1, 2023  
UT8h15



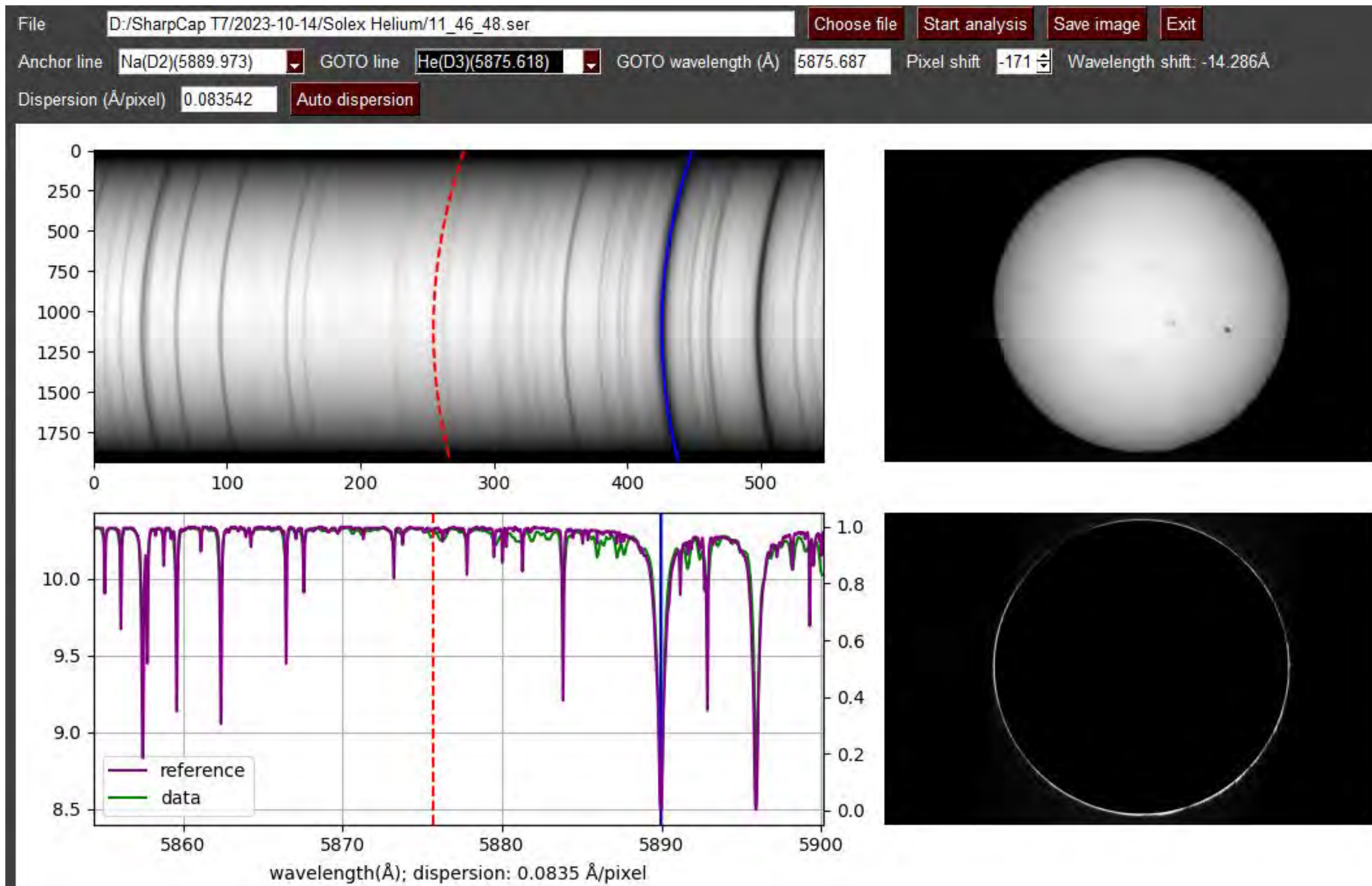
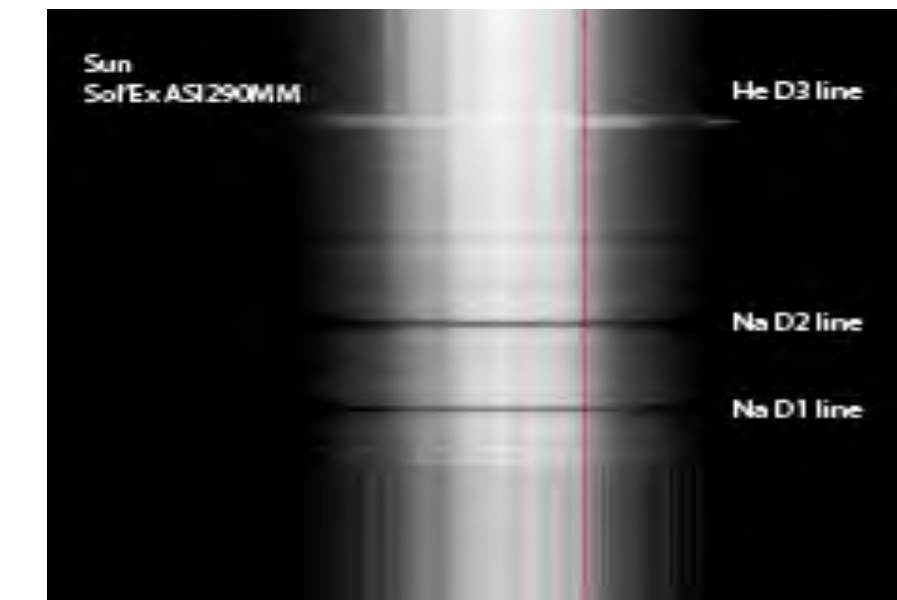
TS APO60/360 ASI290MM Sol'Ex H-Alpha

Sun October 1, 2023  
UT8h56

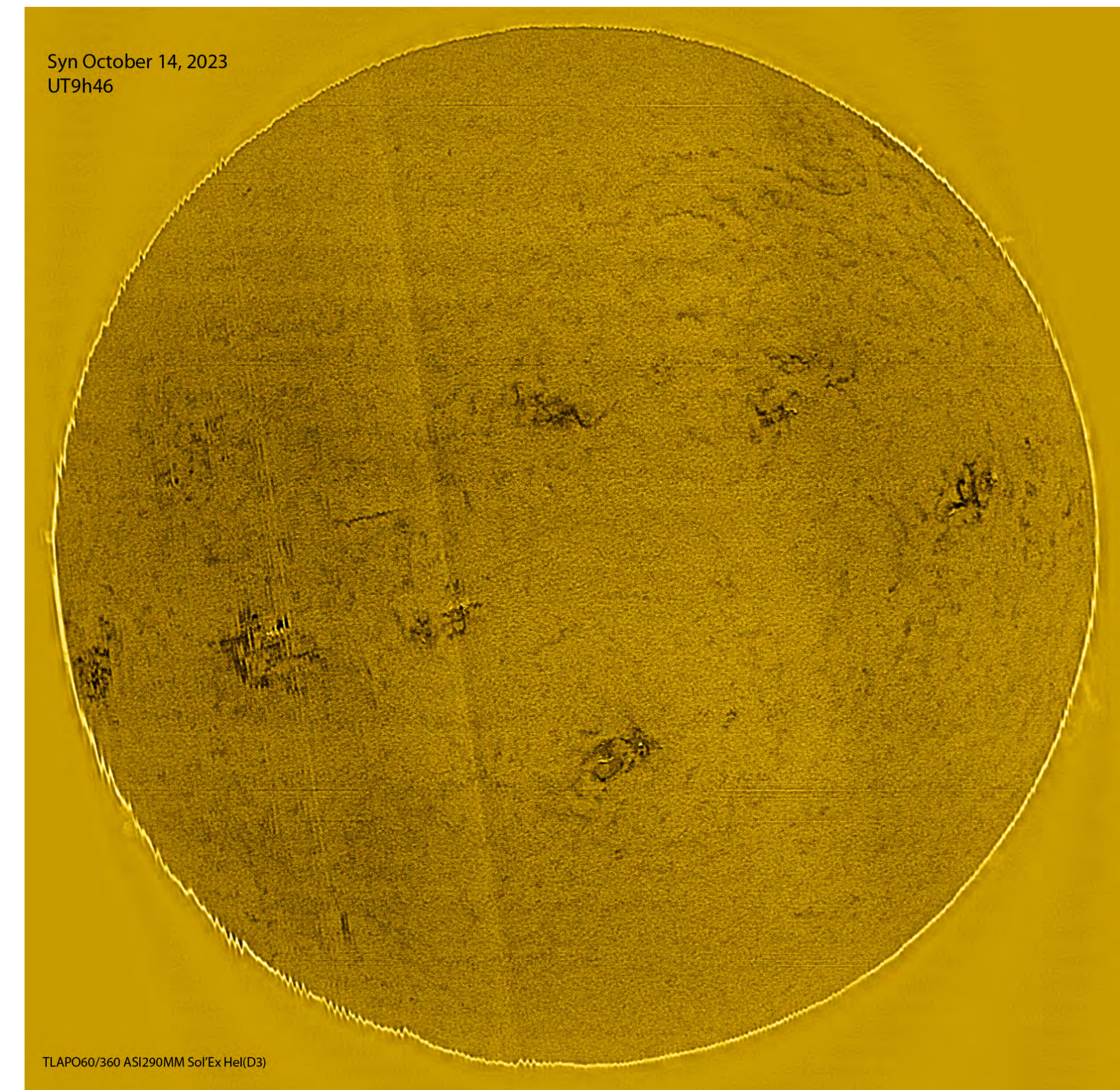


TS APO60/360 ASI290MM Sol'Ex CaK

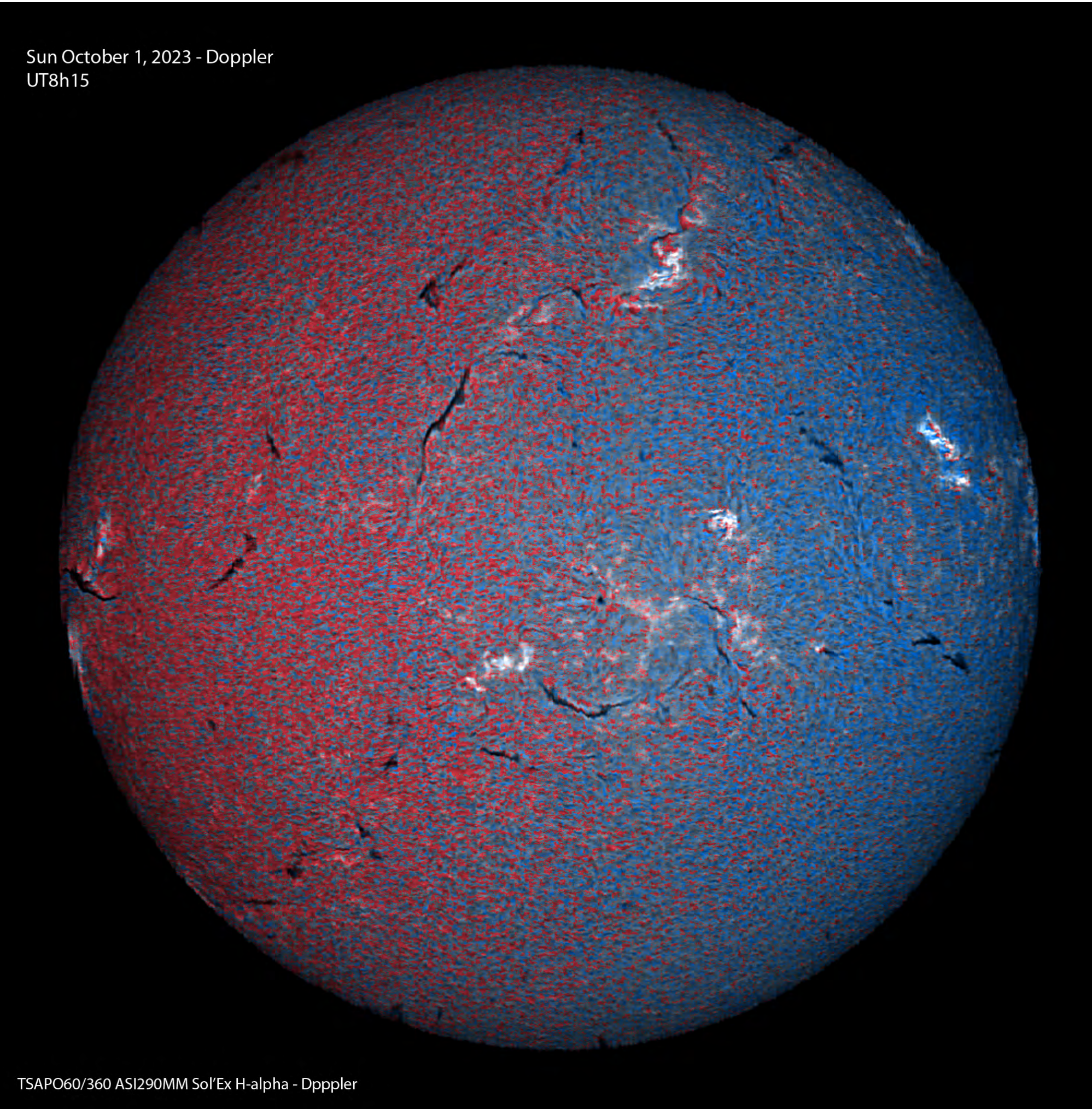
# He I (D3) lijn



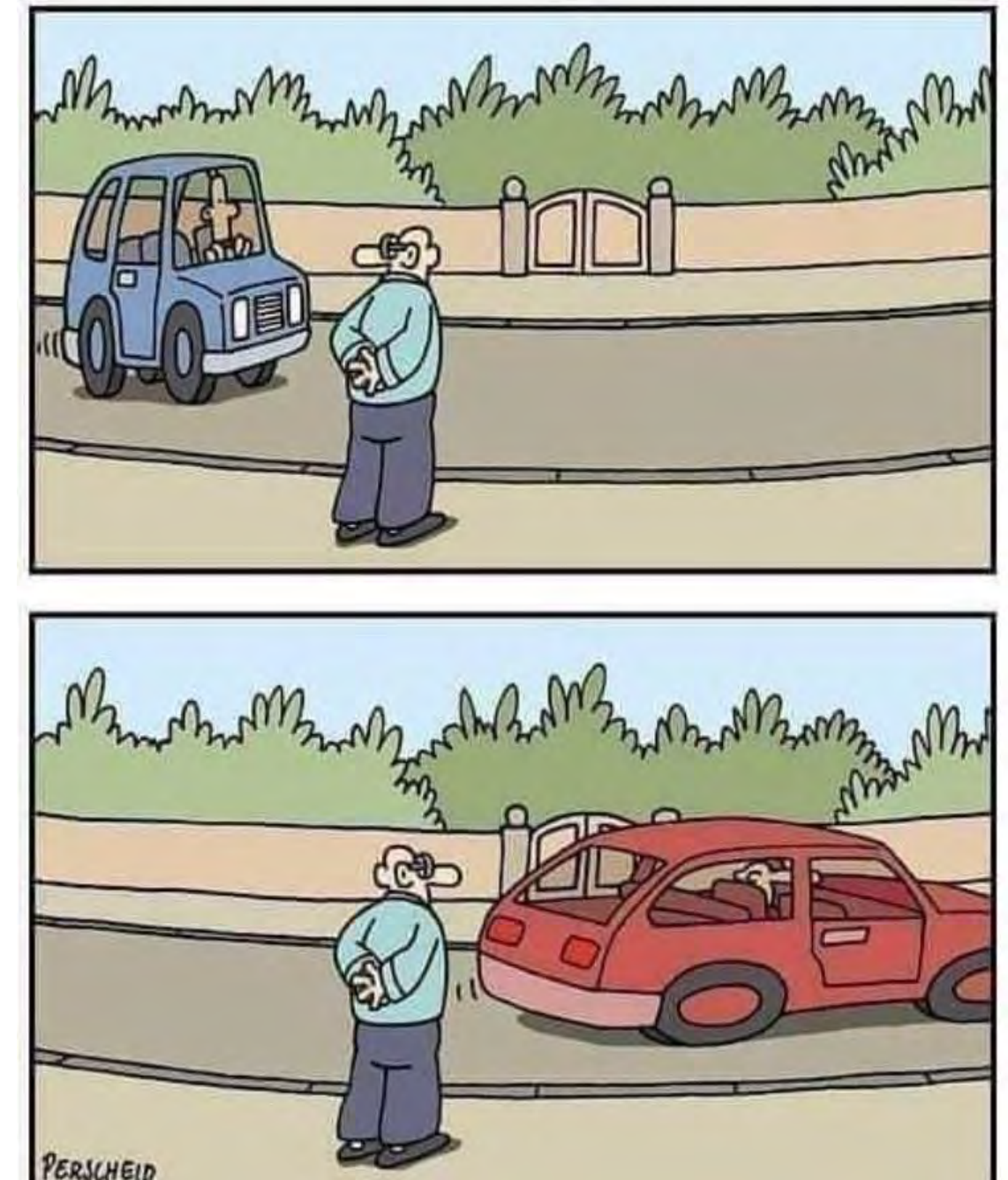
Boven : SHG\_Main  
Rechts : Jsol'Ex



# Doppler Effect



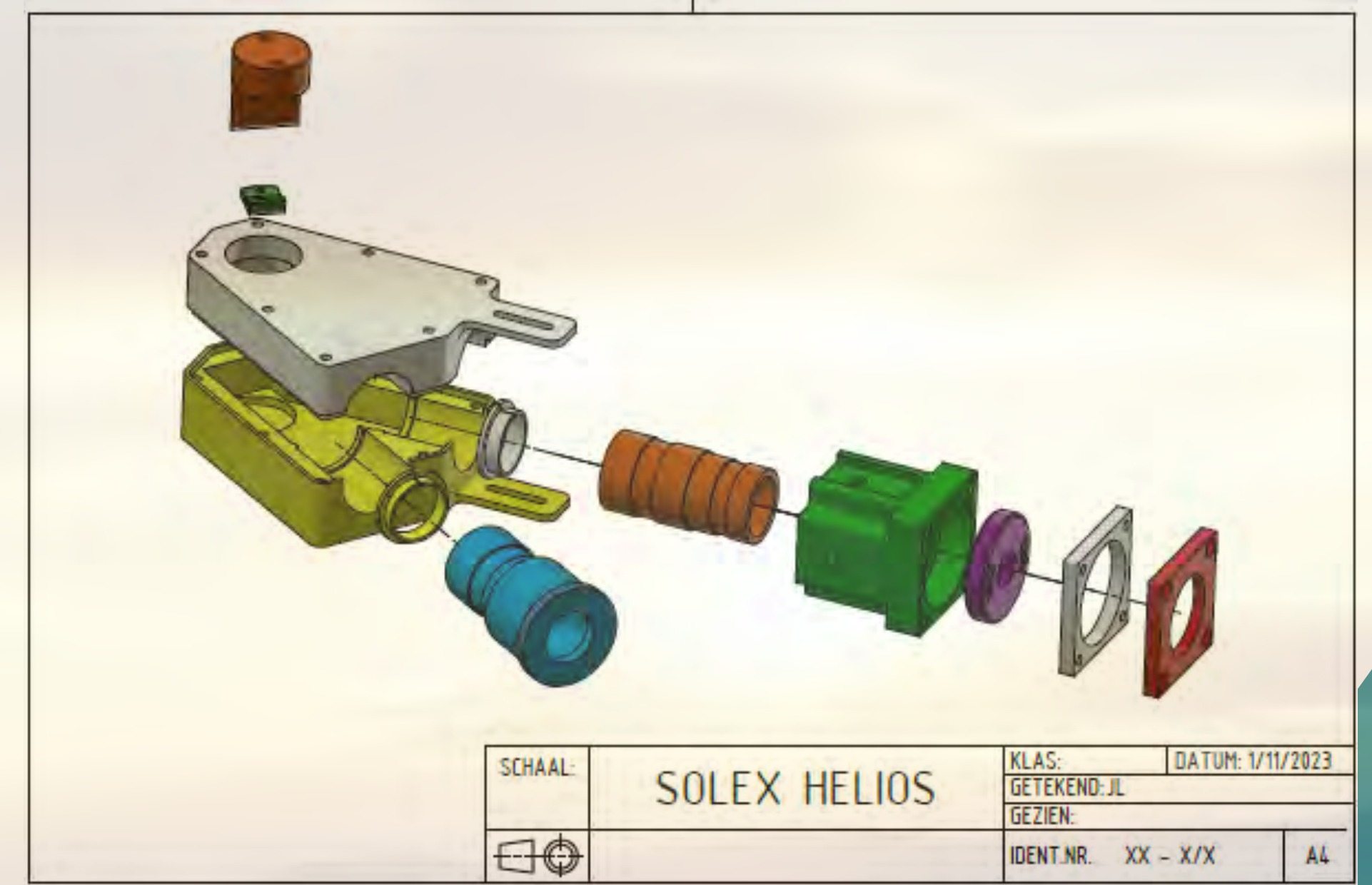
Only physics students will understand...





# En wat next...

- Johan tekende ondertussen alle 3D Sol'Ex onderdelen zelf uit, zodat we zelf verbeteringen kunnen maken
- Opnames in andere spectrum lijnen
  - Vb. flash spectrum ( $H\alpha$ ,  $H\beta$ ,  $H\gamma$ ,  $H\delta$ ,  $H\epsilon$ , Mg, Na, He)
- Magnetogram
- Evershed Effect
- Zeeman Effect
- .... Fun



# Communicatie Sol'Ex Whatsapp

Kick Off : 13 juli 2023

Helios Sol'Ex

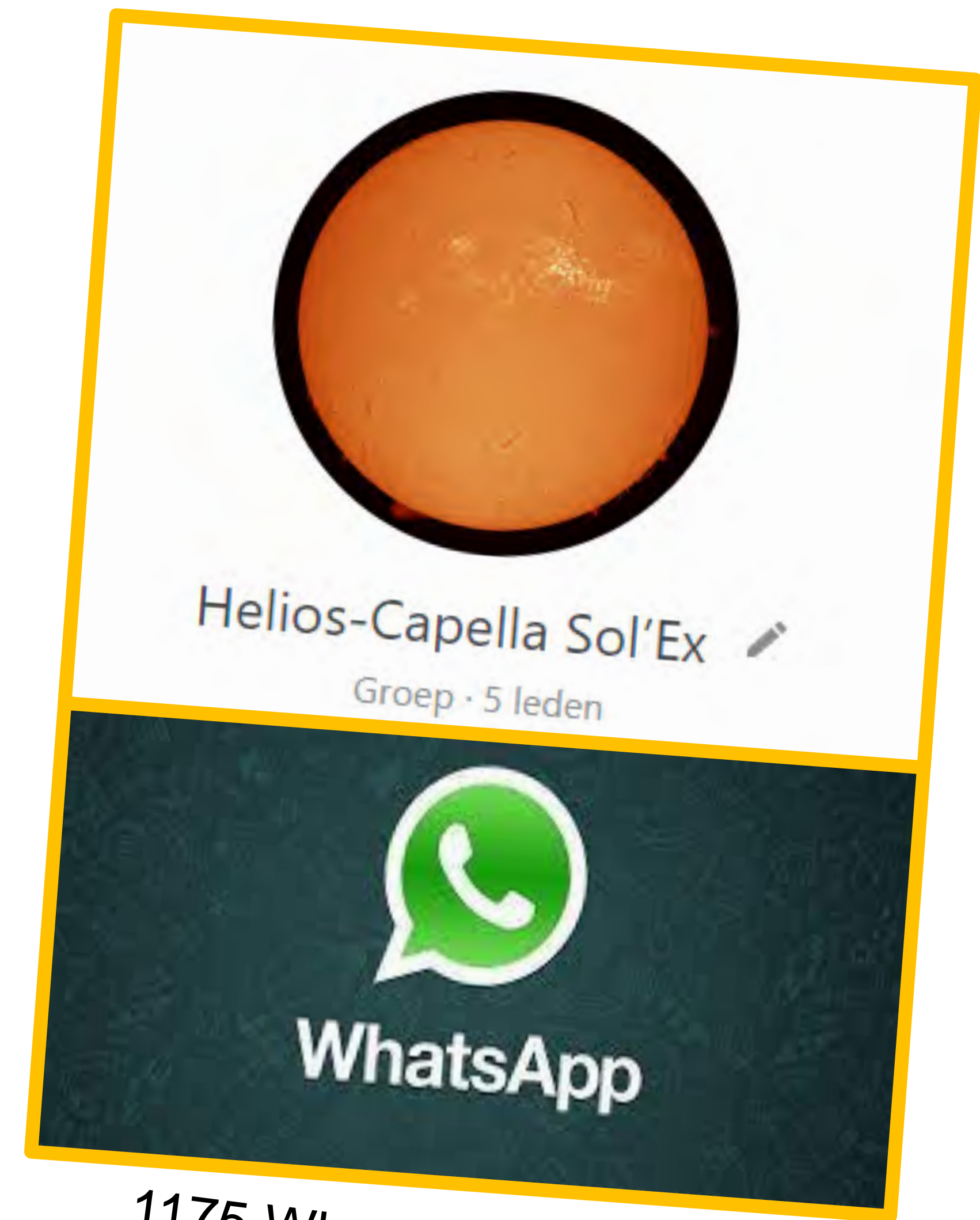
Pascal – Beheerder

Walter & Johan

Uitbreiding 28 september 2023

Helios-Capella Sol'Ex

Helen Peeters & Luc Van Bockstal



1175 WhatsApp Berichten

# Zijn er nadelen?

- Geen visuele waarneming mogelijk
- Noodzaak van waarneming met PC, camera en aanwezigheid van elektriciteit
- Voldoende lange open hemel gezien noodzakelijke afstellingen en scanning van de beelden
- Tijdrovend door bewerking en nabewerking van de beelden
- Sol'Ex blijft fragile toestel
- Investering all-in: 1620€
  - Shelyak Optiek : 486€
  - Azur3DPrint : 129€ basisversie (180€ v2 versie)
  - Telescoop TS70 f/6 en camera ASI 178MM: 375€ en 460€
  - Helical focusser : 100€
  - Filter of Herschel Wedge: 90€ of 160€

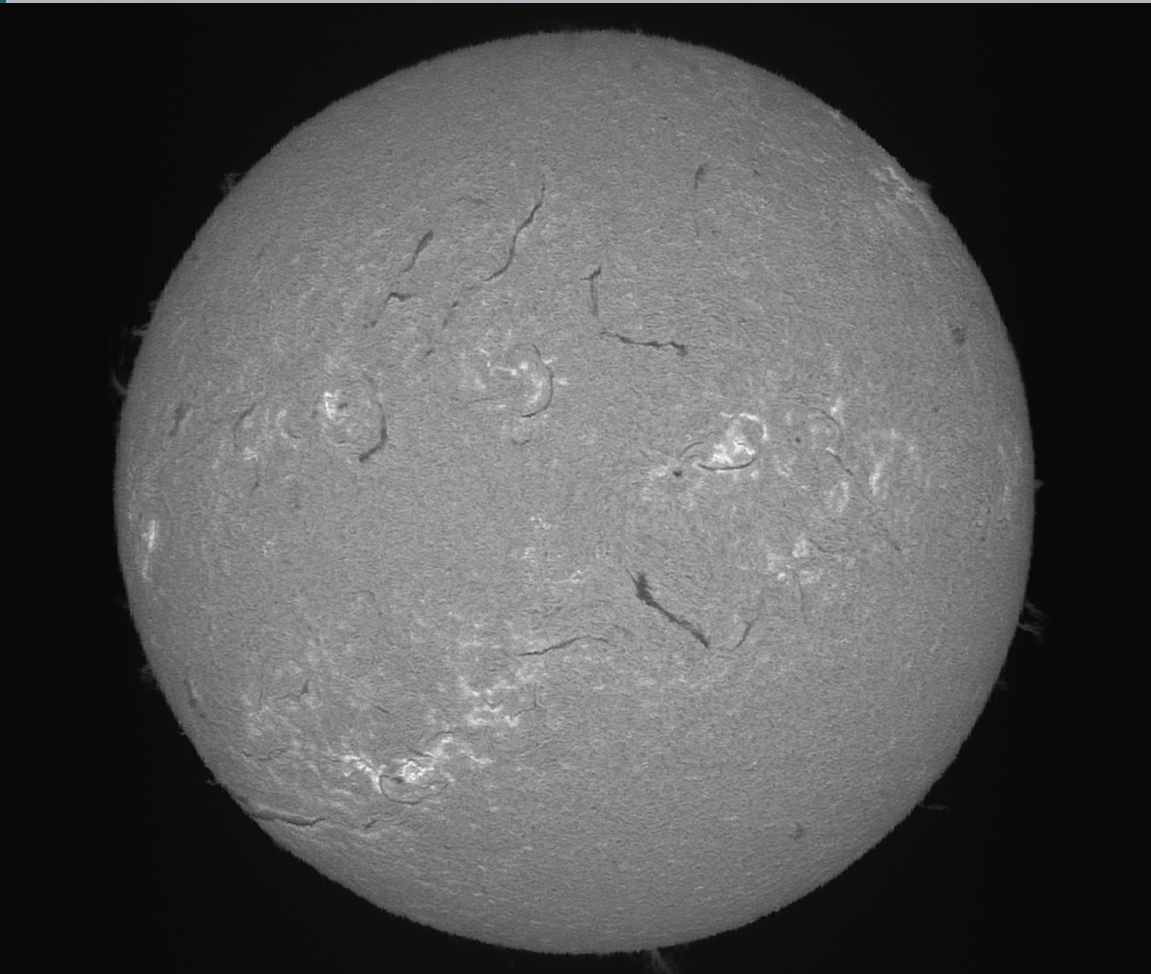
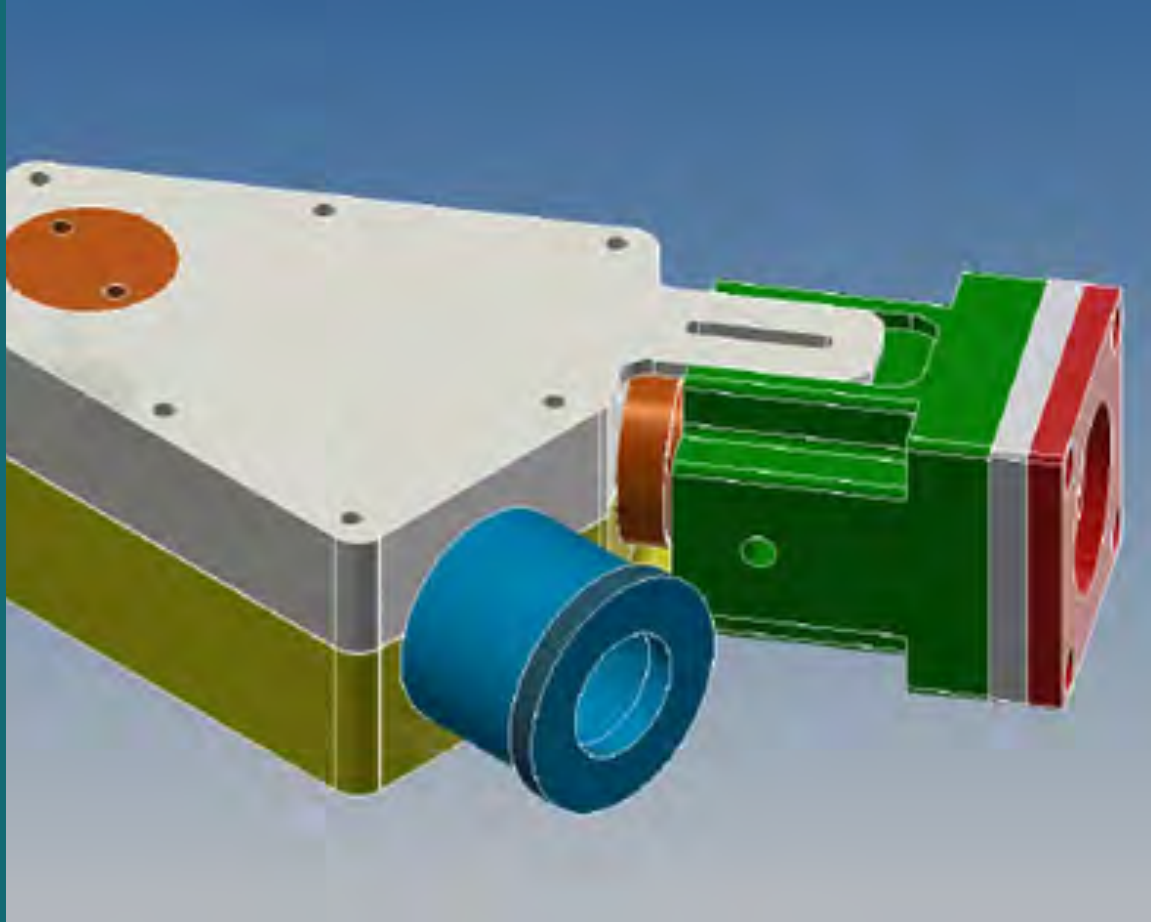


# En... wat hebben we geleerd?



- Zeer educatief :
  - Eenvoudig zelf samen te stellen
  - Werking van optiek en je begrijpt hoe het geheel is af te stellen
- Mogelijkheid tot hergebruik van je telescoop, camera, ....
- Eén toestel voor waarnemingen in golflengtebereik van 380-1000nm
- Eenvoudig toestel en toch met een enorme resolutie
- Zet aan tot leren wat je allemaal ziet of kunt zien
- Gebruik van nieuwe software en eerste stappen naar spectroscopie
- Fun, fun, fun,...

# Referenties



## Sol'Ex

Sol'ex Webpage - [Astrosurf](#)

Christian Buil's Youtube Sol'Ex Channel - [Astro-Spectro](#)

Christian Buil's Webpage - [Spectrography, Detectors and Astronomy](#)

Observing the sun with SHG – [Philippe Rousselle](#)

Shelyak Sol'Ex material - [Shelyak](#)

Shelyak Youtube channel - [Shelyak Instruments TV](#)

3D Prints – [Azure3DPrint](#)

Inti Software - [Valerie Desnoux](#)

SHG-Main Software – [TheLondonSmiths – Smith Douglas](#)

Jsolex Software – [Astro4j Cedric Champeau](#)

Imaging Sunlight using a Digital Spectroheliograph – Ken M. Harrison

Rencontres des observateurs solaires - [ROS](#)

Journée de l'astronomie de solaire - [Mars60](#)



## Bedankt

Interesse... contacteer  
Helios of Capella leden:

Helen, Johan, Luc, Pascal, Walter

Speciale dank aan  
Walter Swinnen  
Johan Luyckx  
Pascal Berteau  
Sabrina Bichet (OMA)

Vragen?

Sun October 14, 2023  
UT9h08



TSAP060/360 ASI290MM Sol'Ex H-Alpha