

Warsztaty astronomiczne

Spektroskopia dla Astrobaz i dla miłośników astronomii

Kierunki możliwego rozwoju Astrobaz (2)

Prof. dr hab. Andrzej J. Kus



UNIwersytet
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU

Toruń, kwiecień 2024



Urząd Marszałkowski Woj. Kujawsko-Pomorskiego

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Emission Spectra of the Elements

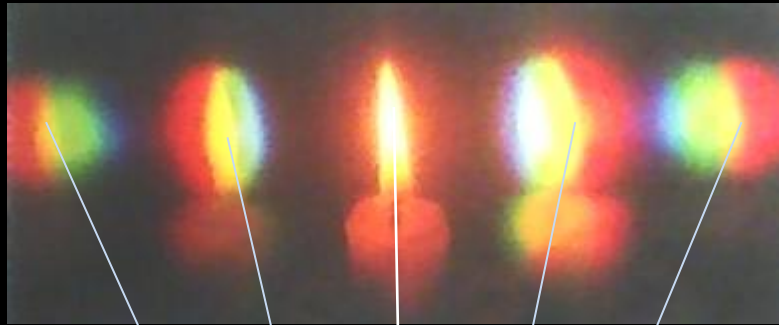
PERIOD	GROUP 1 IA		GROUP 2 IIA		GROUP NUMBERS IUPAC RECOMMENDATION (1985)										GROUP NUMBERS CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986)						GROUP 18 VIIIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
1	1 H HYDROGEN																		2 He HELIUM		
2	3 Li LITHIUM	4 Be BERYLLIUM											5 B BORON	6 C CARBON	7 N NITROGEN	8 O OXYGEN	9 F FLUORINE	10 Ne NEON			
3	11 Na SODIUM	12 Mg MAGNESIUM											13 Al ALUMINIUM	14 Si SILICON	15 P PHOSPHORUS	16 S SULPHUR	17 Cl CHLORINE	18 Ar ARGON			
4	19 K POTASSIUM	20 Ca CALCIUM	21 Sc SCANDIUM	22 Ti TITANIUM	23 V VANADIUM	24 Cr CHROMIUM	25 Mn MANGANESE	26 Fe IRON	27 Co COBALT	28 Ni NICKEL	29 Cu COPPER	30 Zn ZINC	31 Ga GALLIUM	32 Ge GERMANIUM	33 As ARSENIC	34 Se SELENIUM	35 Br BROMINE	36 Kr KRYPTON			
5	37 Rb RUBIDIUM	38 Sr STRONTIUM	39 Y YTTRIUM	40 Zr ZIRCONIUM	41 Nb NIOBIUM	42 Mo MOLYBDENUM	43 Tc TECHNETIUM	44 Ru RUTHENIUM	45 Rh RHODIUM	46 Pd PALLADIUM	47 Ag SILVER	48 Cd CADMIUM	49 In INDIUM	50 Sn TIN	51 Sb ANTIMONY	52 Te TELLURIUM	53 I IODINE	54 Xe XENON			
6	55 Cs CAESIUM	56 Ba BARIUM	57-71 La-Lu Lanthanide	72 Hf HAFNIUM	73 Ta TANTALUM	74 W TUNGSTEN	75 Re RHENIUM	76 Os OSMIUM	77 Ir IRIDIUM	78 Pt PLATINUM	79 Au GOLD	80 Hg MERCURY	81 Tl THALLIUM	82 Pb LEAD	83 Bi BISMUTH	84 Po POLONIUM	85 At ASTATINE	86 Rn RADON			
7	87 Fr FRANCIUM	88 Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinide	104 Rf RUTHERFORDIUM	105 Db DUBNIUM	106 Sg SEABORGIUM	107 Bh BOHRIUM	108 Hs HASSIUM	109 Mt MEITNERIUM	110 Ds DARMSTADIUM	111 Rg ROENTGENIUM	112 Cn COPERNICIUM	113 Uut UNUNTRIUM	114 Fl FLEROVIUM	115 Uup UNUNPENTIUM	116 Lv LIVERMORIUM	117 Uus UNUNSEPTIUM	118 Uuo UNUNOCTIUM			

LANTHANIDE

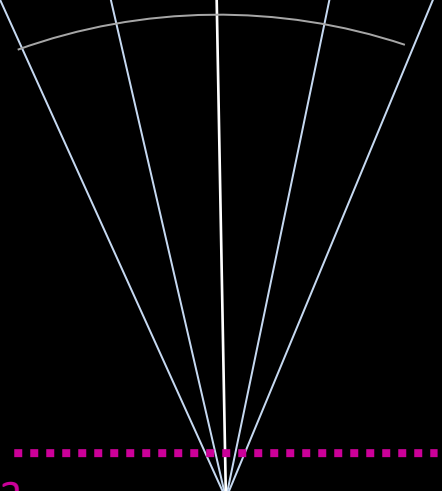
57 La LANTHANUM	58 Ce CESIUM	59 Pr PRASEODYMIUM	60 Nd NEODYMIUM	61 Pm PROMETHIUM	62 Sm SAMARIUM	63 Eu EUROPIUM	64 Gd GADOLINIUM	65 Tb TERBIUM	66 Dy DYSPROSIUM	67 Ho HOLMIUM	68 Er ERBIUM	69 Tm THULIUM	70 Yb YTTERIUM	71 Lu LUTETIUM
89 Ac ACTINIUM	90 Th THORIUM	91 Pa PROTACTINIUM	92 U URANIUM	93 Np NEPTUNIUM	94 Pu PLUTONIUM	95 Am AMERICIUM	96 Cm CURIUM	97 Bk BERKELIUM	98 Cf CALIFORNIUM	99 Es EINSTEINIUM	100 Fm FERMIUM	101 Md MENDELEVIUM	102 No NOBELIUM	103 Lr LAWRENCIUM

ACTINIDE

n=2 n=1 n=0 n=1 n=2



2α 1α 1α 2α



Siatka
dyfrakcyjna



500 linii/mm

$d = 2,0 \mu\text{m}$

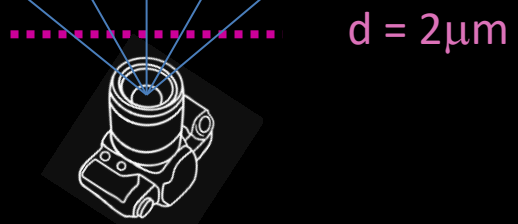
kąt ugięcia

$\alpha \approx 16^\circ$

$\sin(\alpha) = \lambda/d$

~ względne natężenie światła

0,1 0,4 1,0 0,4 0,1



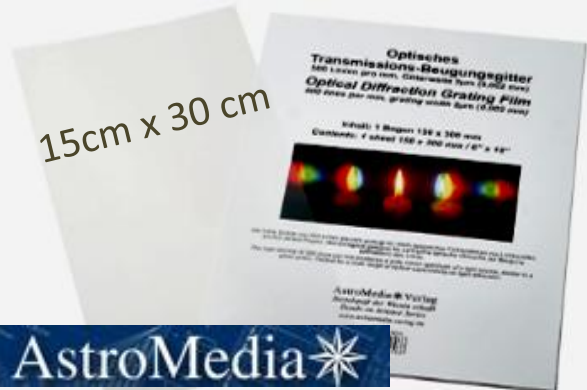
SIATKA DYFRAKCYJNA 500 LINII NA MM

$d = 2 \mu\text{m}$

18 groszy za cm^2 !!!

Dostępność: duża ilość
Wysyłka w: 24 godziny
Dostawa: od 7,00 zł - Lis
ekonomiczny (Polska) ?

Rekomendowana dla amatorskiej astro-spektroskopii



Cena: 79,50 zł

* Rozmiar:

1 szt.

* - Pole wymagane

Art. Nr 458

do koszyka

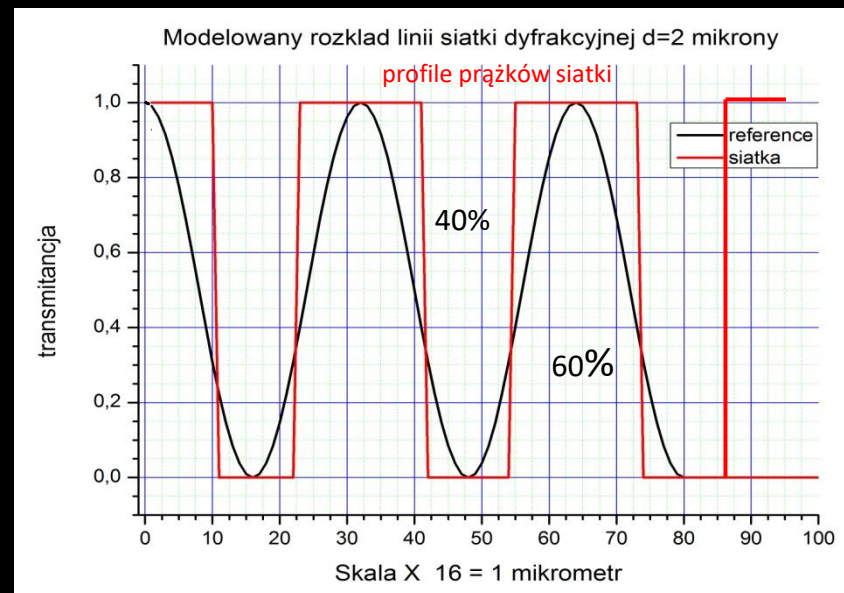
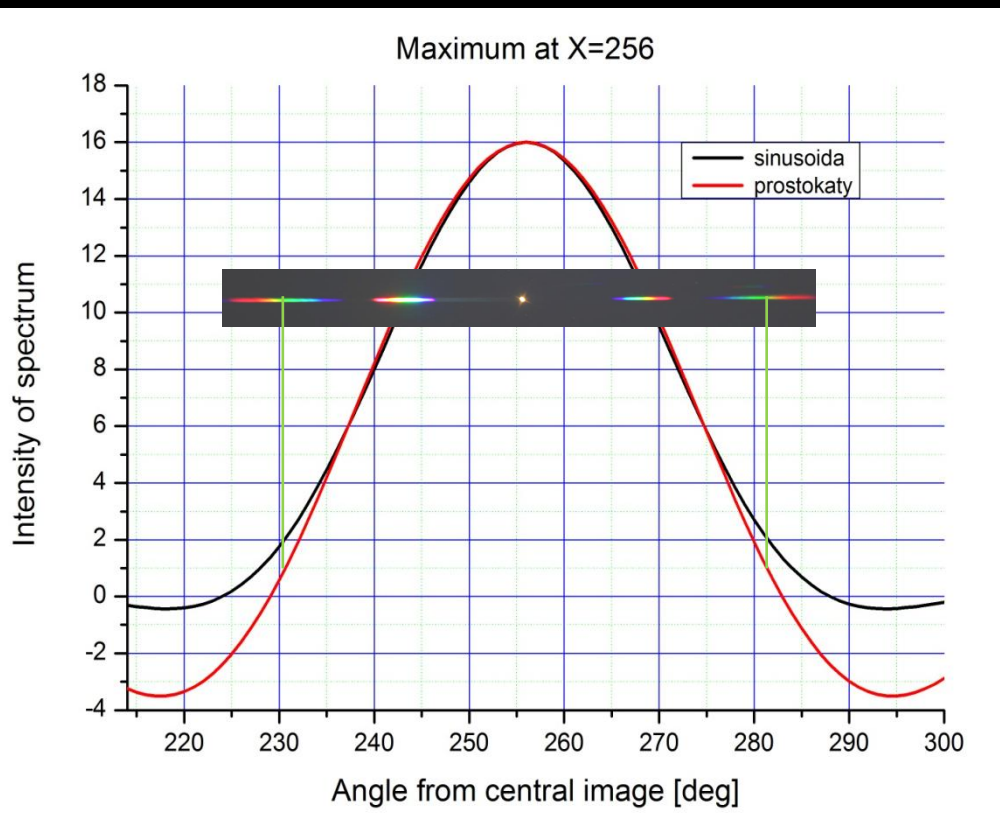
folia o grubości 0,05mm



Natężenie światła w kolejnych rzędach ugięcia (n)

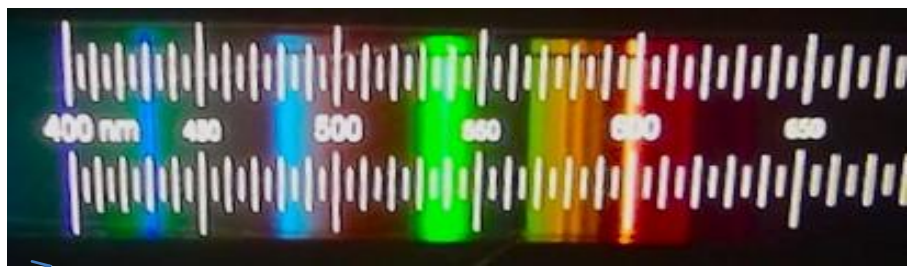
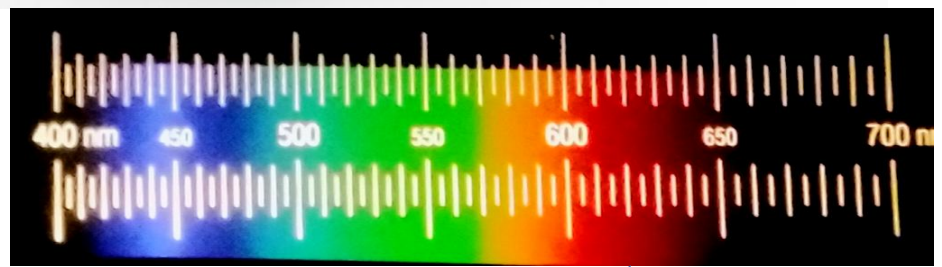
Decyduje szerokość pojedynczej szczeliny lub szerokość i kształt profilu szczelin.

Istotne dla czułości są także rozproszenia i absorpcja w siatce.



RĘCZNY SPEKTROSKOP

ZESTAW DO SAMODZIELNEJ BUDOWY (~40 ZŁ.)



Zarówki energooszczędne

Słońce =>

zdjęcia wykonane smartfonem



Propozycje spektrografu dla Astrobaz



**Spektograf Shelyak Lhires III
plus kamera CCD**

21 - 23 tys zł. + 5-10 tys. zł. Astroshop.pl

Przykład instalacji na teleskopie Celestron C5



Configuration for Stellar Spectrums

YouTube Video: [Shelyak Instruments Lhires III, Celestron C5 telescope & Sony NEX-6 camera](#)

[Shelyak Instruments](#) Lhires III

Grating module 2400 gr/mm
Model#: SE0082 CCD adapter
for Lhires III to mount a QSI ccd
camera ('ws' front plate) on a
Lhires III. Thread: M42x0.75
backfocus: 34.9 mm
Orion 22mm eyepiece and 2X
Barlow in the guider port

Optics used with the Lhires III

Celestron C5 telescope

[Sony](#) Alpha NEX-6 mirrorless digital camera

Imaging Sensor : 16.1MP Exmor
APS-C HD CMOS sensor (23.5 X
15.6mm)

Still Image Size 16:9 : L: 4912 x
2760

Still Image Size 3:2 :4912 x 3264

Interchangeable Lens Mount

Type: Sony E-mount

Sony E-mount to T adapter

5mm T-Mount Extension Tube

1X finder

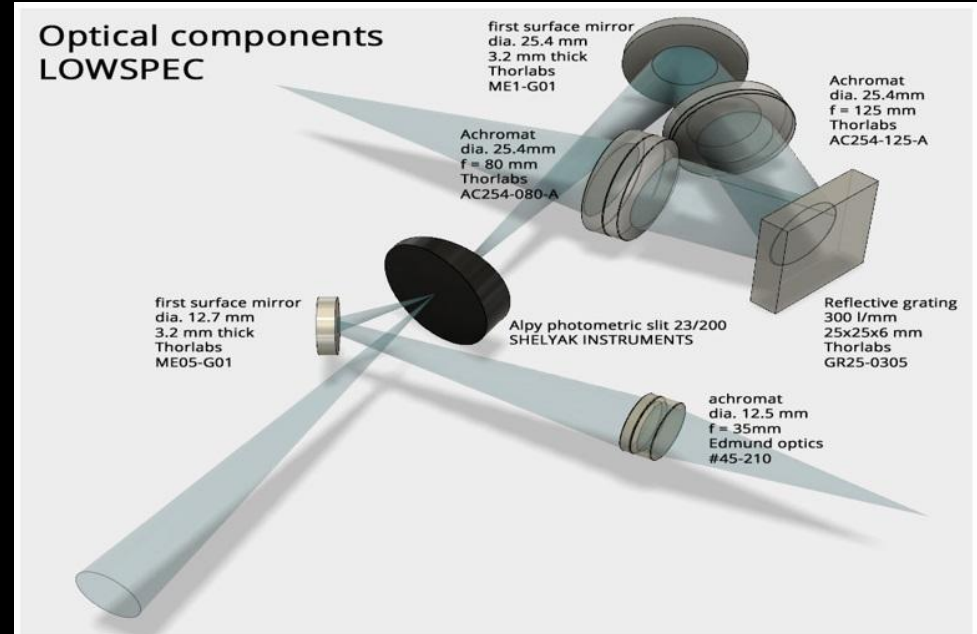
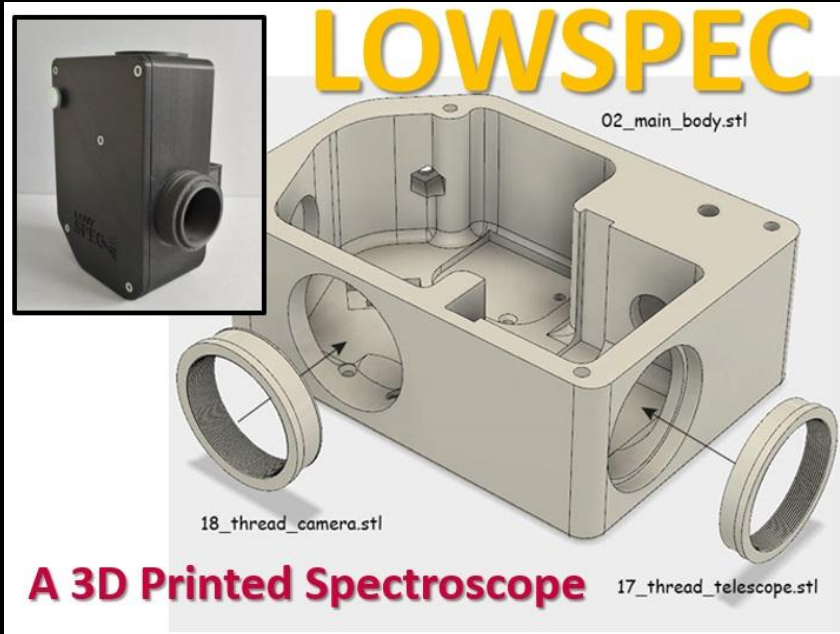
Orion finder

[Astro-Physics](#) Mach1 GoTo mount

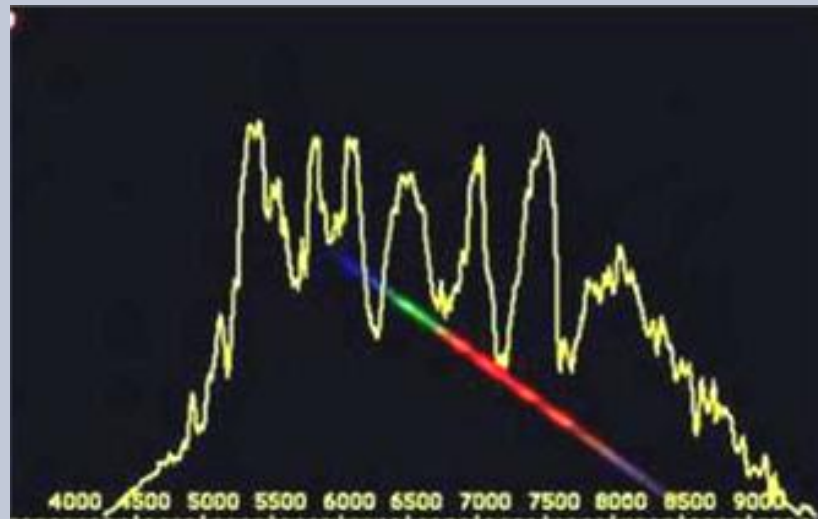
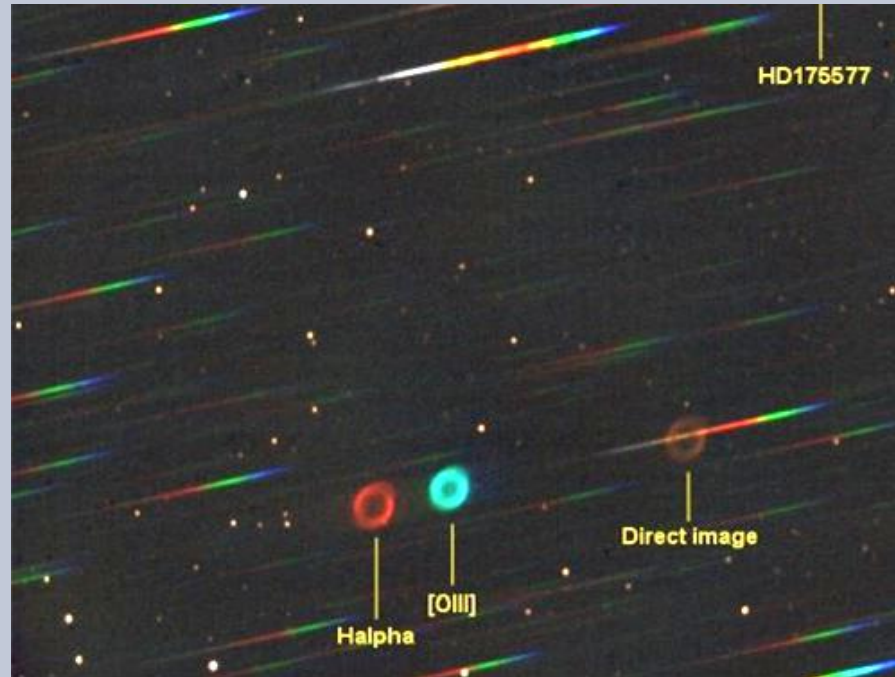
Lowspec DIY

[Paul Gerlach](https://www.meccanismocomplesso.org/en/lowspec-a-3d-printed-spectroscope/)

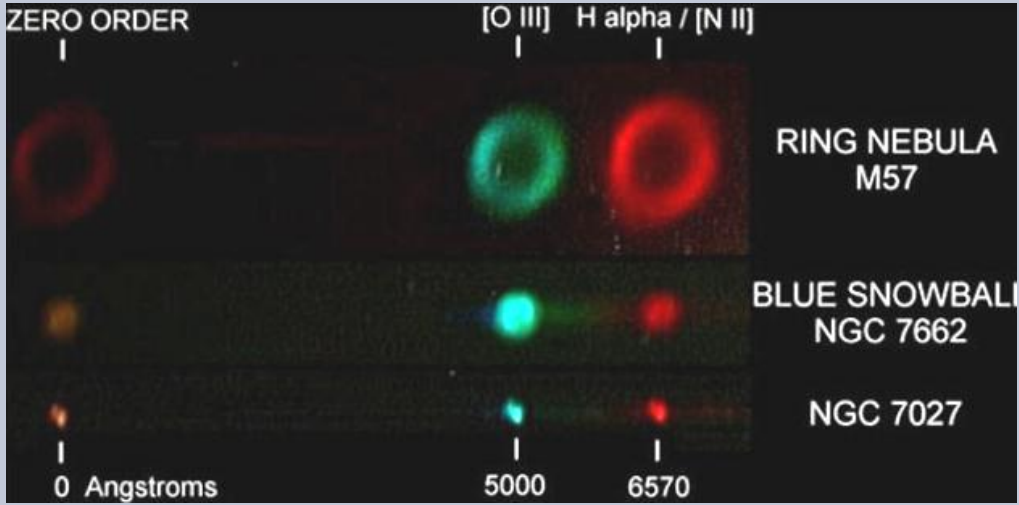
<https://www.meccanismocomplesso.org/en/lowspec-a-3d-printed-spectroscope/>



Siatki dyfrakcyjne 100 linii/mm i 200 linii/mm Star Analyser



Spektroskop / Star Analyser 100
Teleskopy.pl



Shelyak **820 / 930 PLN**

Siatka wykonana na szkłe, posiada warstwę ochronną odporną na zabrudzenia,
Profilowane kształty prążków dają jednostronne wzmocnienie (ponad 2x)
intensywności widma dla pierwszego rzędu ugięcia ($n=1$), i osłabienie jasności obiektu
(rzęd $n=0$). Bardzo poprawia czułość, efekt znaczący. Profesjonalne wykonanie.



https://teleskopy.pl/product_info.php?products_id=8947&lunety=Shelyak%20Star%20Analyser%20200

https://teleskopy.pl/product_info.php?products_id=4896&lunety=Shelyak%20Star%20Analyser%20100

929,- zł.

i

819.- zł.

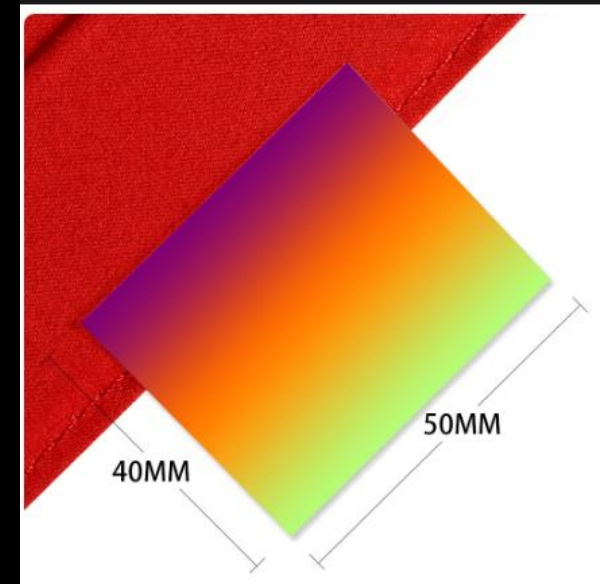
Testy z siatką dyfrakcyjną na folii 0.1mm 300 linii/mm (cena 5 zł /cm²)

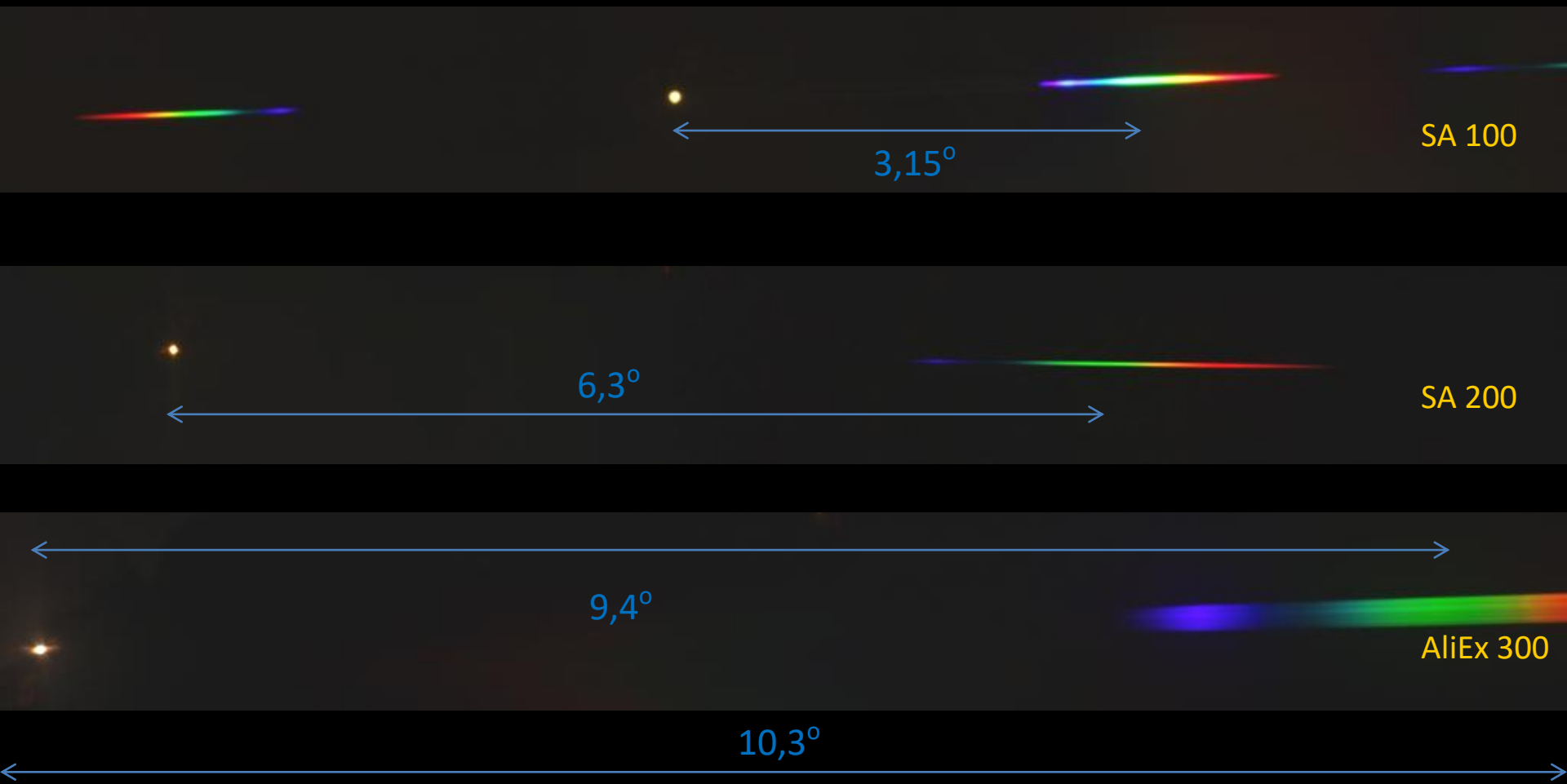
Porównanie obrazów uzyskanych z siatkami Star Analyser wskazuje, że siatka z *AliExpress* (200 linii/mm) **ma faktycznie ~300 linii / mm**

Rozmiar siatki 4x5 cm daje średnio $f/d=4.5$ dla $f=200\text{mm}$, co oznacza ponad 3-krotny (1,3 magnitudo) wzrost czułości względem siatek SA



Ale są inne czynniki, które sprawiają, że zakupu takiej siatki nie polecam !!!





Zdjęcie dalekiej lampy ulicznej, widma (od góry) z siatkami SA 100, SA 200 i AliEx 300 linii/mm

Aparat Canon 6d2, obiektyw ef 200mm f/2.8L, siatki umieszczane przed obiektywem, przysłony kolejno: f/8.3, f/8.3 i f/4.5, wynikają one z rozmiaru użytej siatki, ISO = 400, czas ekspozycji: 1, 1, 2 sek. Najlepsze rezultaty dla SA 200.

Siatka AliEx rozprasza widmo w dwu kierunkach, b. zła rozdzielczość , **bezużyteczna !!!**

Siatka dyfrakcyjna 1000 linii / mm

zakupiona, czeka na testy, koszt 18 groszy / cm²

SIATKA DYFRAKCYJNA 1000 LINII NA MM $\alpha \sim 33^\circ$



150 x 300 mm

Dostępność:
Wysyłka w:
Dostawa:
ekonomiczny (Polska) ?

duża ilość
24 godziny
od 7,00 zł - List polecony

[sprawdź formy dostawy](#)

Cena: 79,50 zł

18 groszy za cm²

* Rozmiar:

Art. nr 459.NDB wymiary 150✓

1 szt.

do koszyka

* - Pole wymagane

[dodaj do przechowalni](#)

Producent:

[zapytaj o produkt](#)

[poleć znajomemu](#)

[dodaj opinię](#)

AstroMedia*

Brak pogody, nie było jeszcze szans na wykonanie wymagających testów obserwacyjnych
Testy z obiektywem Canon ef 300mm f/2.8L IS z siatką na wewnętrznym filtrze UV niepomysłne .

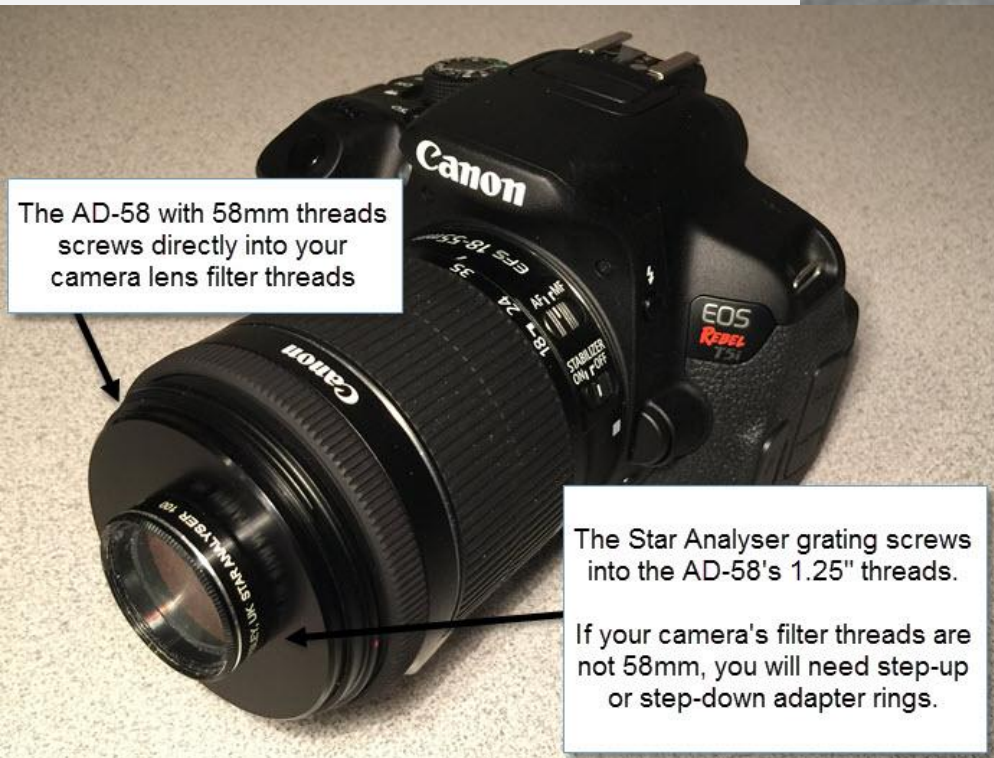
Prosta spektroskopia z Star Analyser 100 i 200

Obiektyw 75-300 mm @200mm f/d ~7

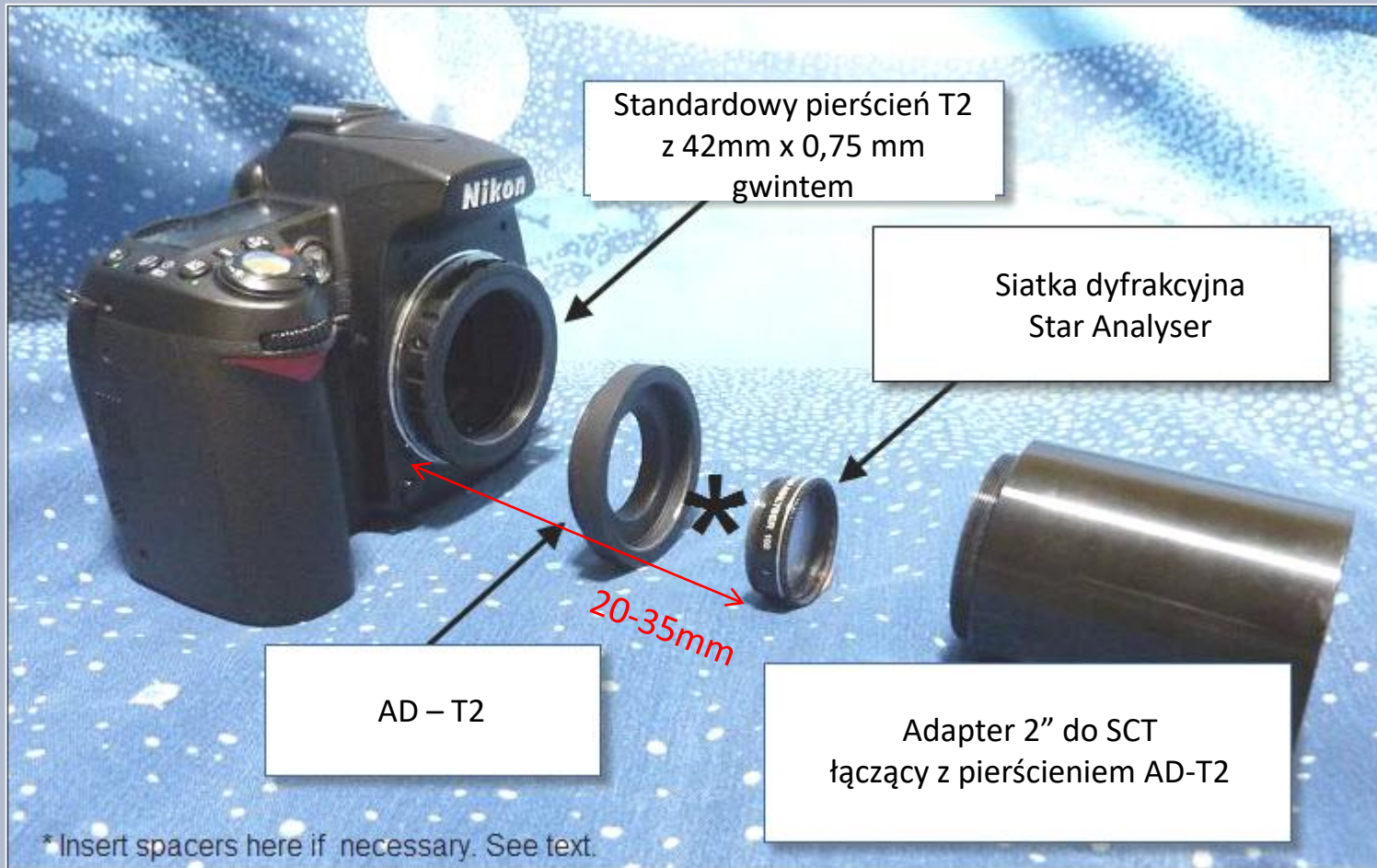
<https://www.fieldtestedsystems.com/starspectra/>



<https://www.rspec-astro.com/>



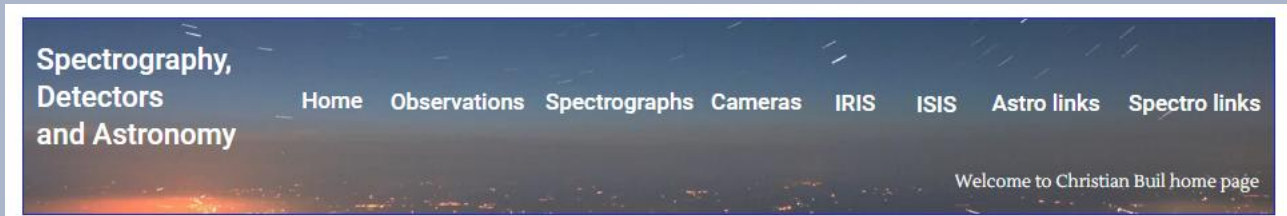
Połączenie siatki dyfrakcyjnej Star Analyser z DSLR i teleskopem



<https://www.fieldtestedsystems.com/starspectra/>

http://www.threehillsobservatory.co.uk/astro/spectroscopy_11.htm

Spectroscopy software



<http://www.astrosurf.com/buil/isis-software.html>

darmowe

1.



A free Windows application dedicated to processing of astronomical spectral data

By Christian Buil

What does it look like ?...



<http://astrosurf.com/vdesnoux/>

darmowy

2.



<https://www.rspect-astro.com/>

~100\$

3.

Przykłady użycia siatki dyfrakcyjnej dla astro-spektroskopii w oparciu o:

- komercyjnie dostępne obiektywy fotograficzne
 - teleskopy długoogniskowe
 - aparaty fotograficzne DSLR
- + dobrej klasy montaż równikowy ze statywem

Set-up

1

Canon ef 300mm f/2.8L IS

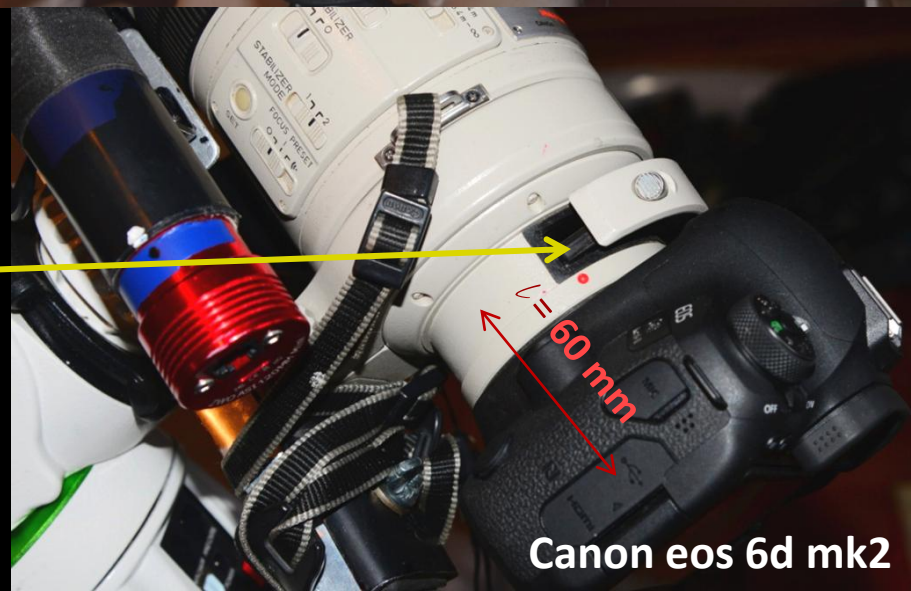
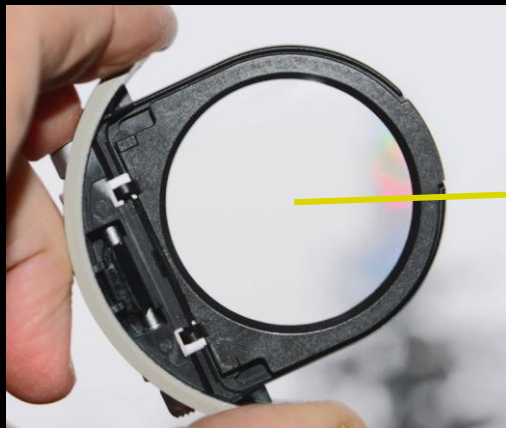
$\ell = 60 \text{ mm}$

SA GTi

Siatka
dyfrakcyjna
500 linii/mm
 $d = 2 \mu\text{m}$

kąt ugięcia
 $\alpha \sim 16^\circ$

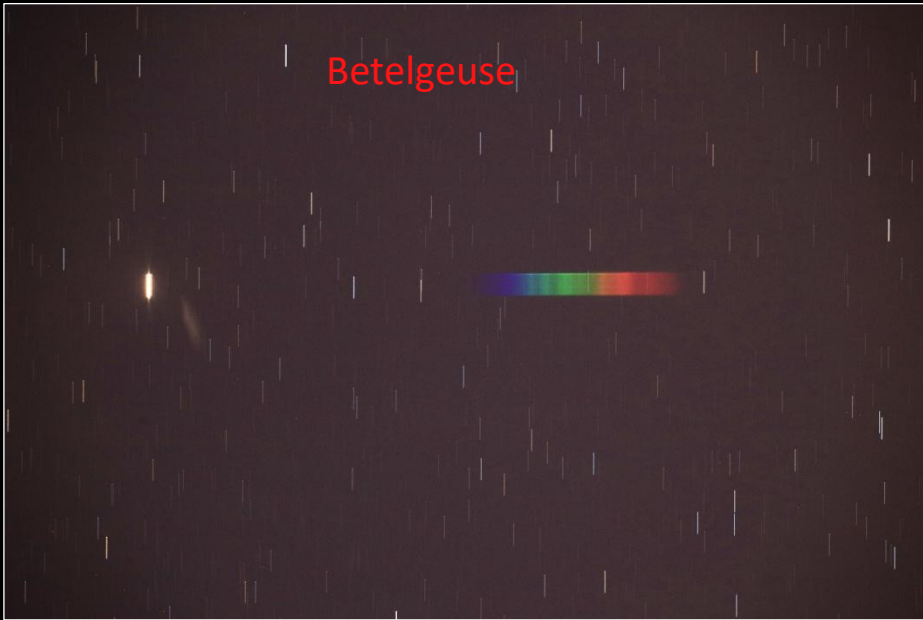
$\sin(\alpha) = \lambda/d$



Canon eos 6d mk2

Przykładowe zdjęcia FF, ef 300/2.8L, @f/6.3, iso=1600, exp=40s i 30s

Betelgeuse



Aldebaran

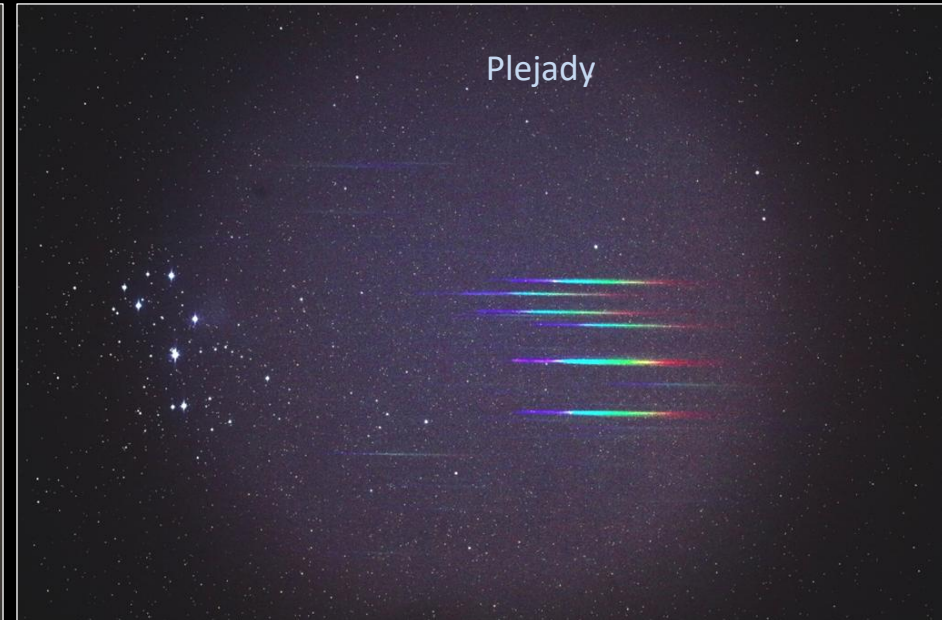


$\ell = 60 \text{ mm}$

Syriusz

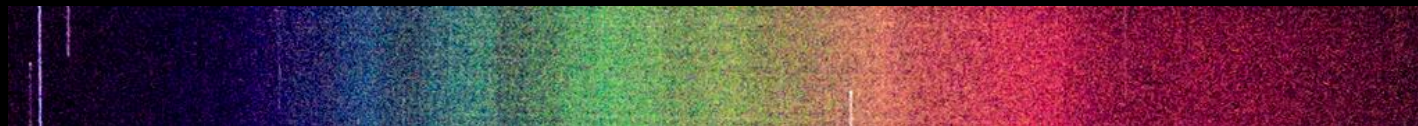


Plejady



Przykładowe widma z siatką dyfrakcyjną na cienkiej (0,05mm) folii PET,
500 linii/mm, $d = 2 \mu\text{m}$, poszerzenie w RA z prędkością ruchu +1,
czas ekspozycji 30sek, ISO=2000, Canon eos 6d2, obiektyw $f=300\text{mm @}f/3,2$

siatka umocowana na wewnętrznym filtrze „Neutral” $l = 60 \text{ mm}$



Betelgeuse



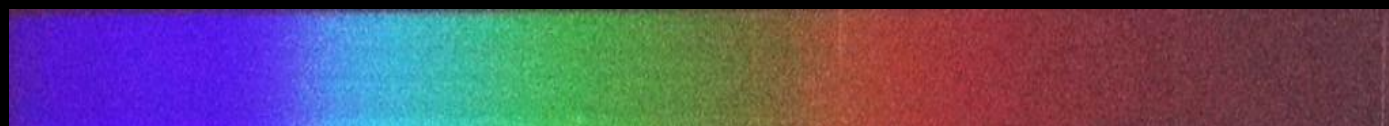
Syriusz



Aldebaran



Procyon



Rigel



Jowisz
Słońce

Betelgeuse

Syriusz

Bellatrix

Procyon

Aldebaran

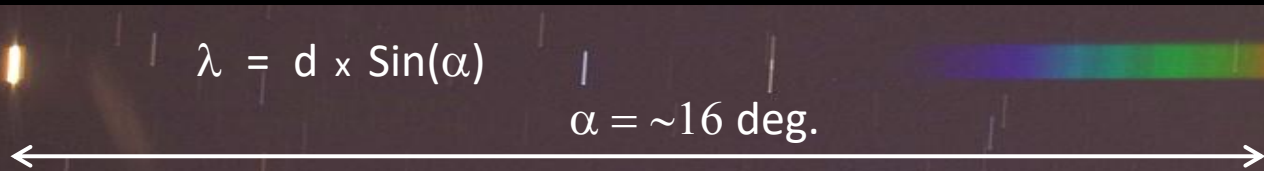
Rigel

Jowisz

$\lambda = d \times \sin(\alpha)$

$\alpha = \sim 16 \text{ deg.}$

FF



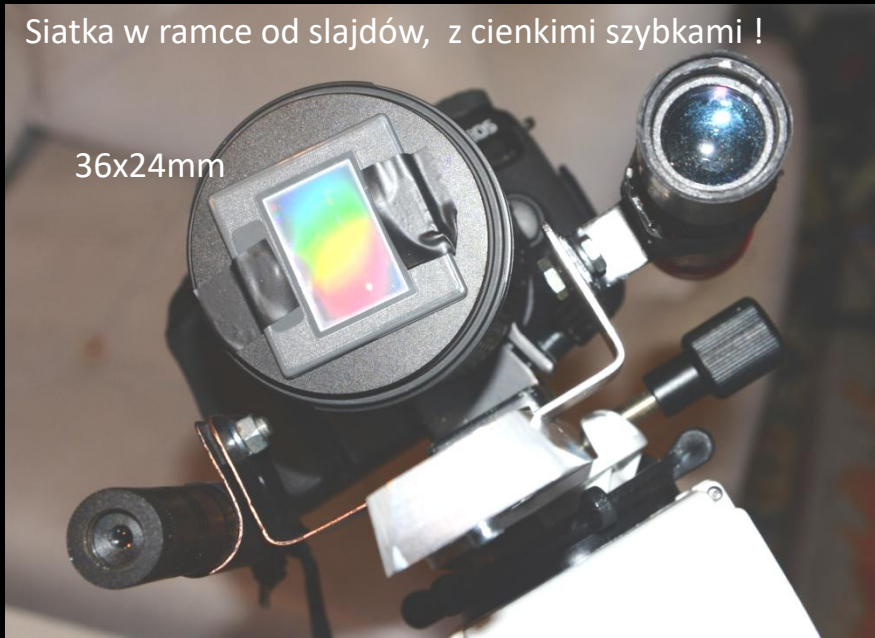
Canon ef 200mm f/2.8L + Canon eos 6d mk2

Siatka dyfrakcyjna $d = 2 \mu\text{m}$, przed obiektywem. Offset widma w DEC +/-16 deg.

2a

Siatka w ramce od slajdów, z cienkimi szybkami !

36x24mm



siatka w filtrze 2 x UV 40,5mm



Siatka pomiędzy 2. filtrami UV 72mm

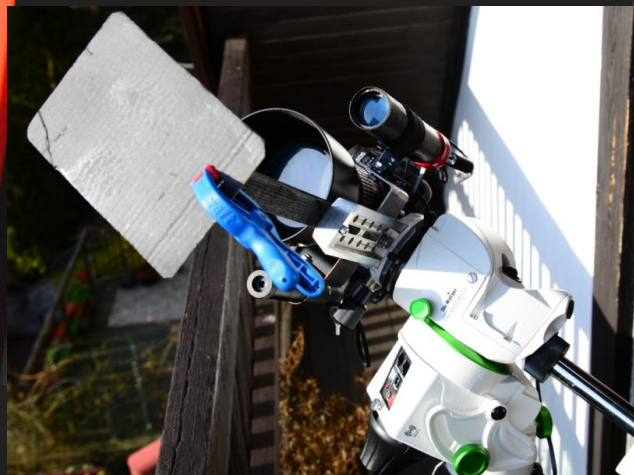


wykorzystana jest pełna apertura f/2.8





Canon ef 200/2.8L @f2.8
SA GTi



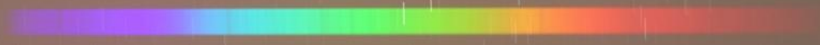
$\alpha = \sim 16 \text{ deg.}$

$d = 2 \mu\text{m}$

$\lambda = d \times \text{Sin}(\alpha)$



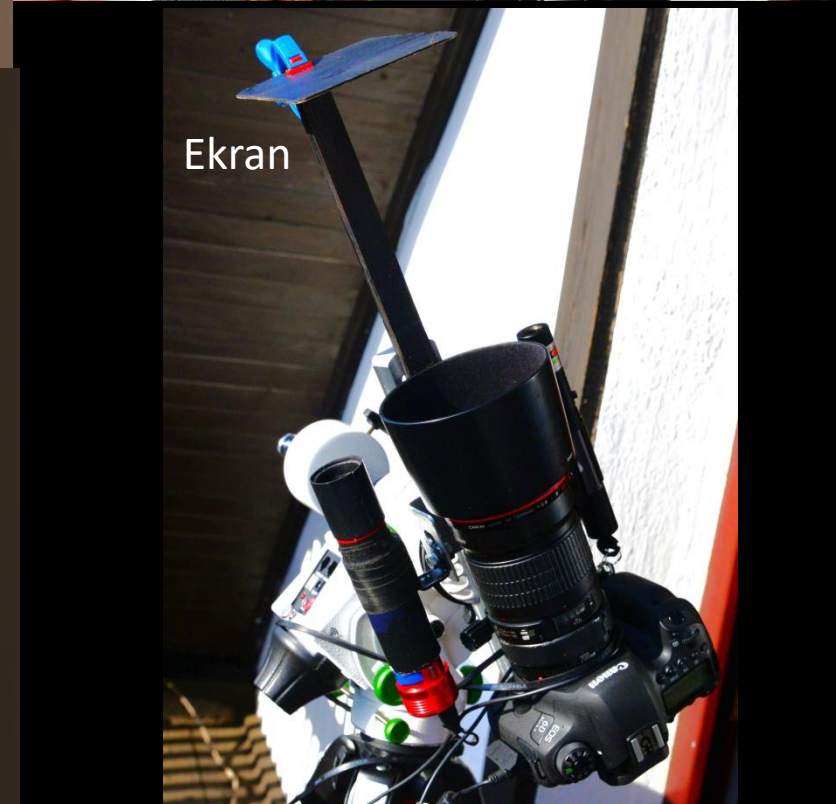
ISO=640 Exp=60s f/2.8 bez ekranu



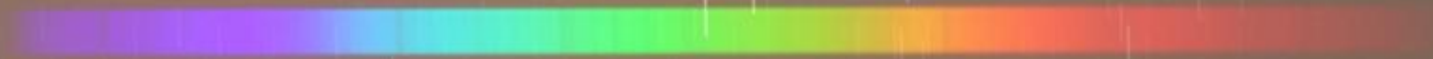
Jowisz



ISO=640 Exp=60s f/2.8 z ekranem



Canon 6d2 ef 200/2.8L ISO=640 Exp=60s f/2.8 bez ekranu



d = 2 μ m



Canon 6d2 ef 200/2.8L ISO=640 Exp=60s f/2.8 z ekranem

Canon 6d2 FF + Canon ef 200 mm f/2.8L @f2.8, $d = 2 \mu\text{m}$

Jowisz /
Słońce

Aldebaran

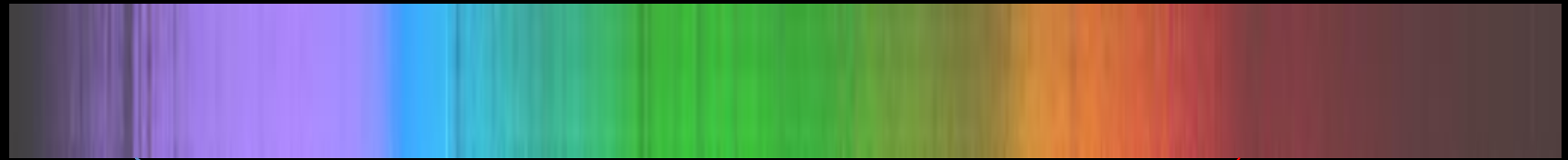
Betelgeuse

Syriusz

Procjon

Najlepsze widma (#1)

Obiektyw f=200mm siatka przed obiektywem, oprawiona w ramce slajdu z szybkami ochronnymi Jowisz / Słońce



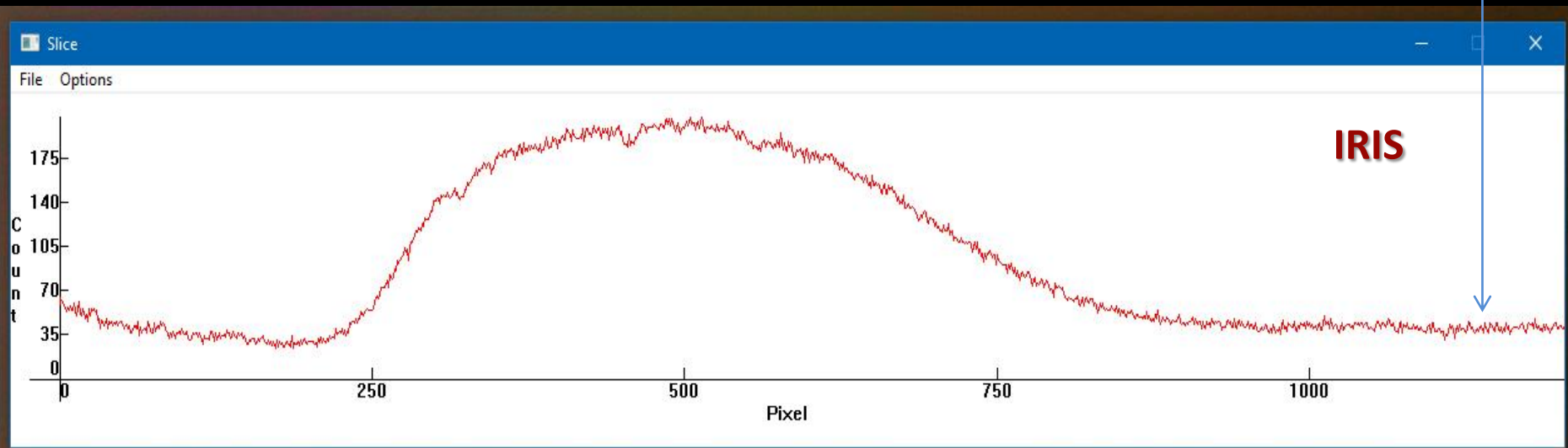
29-01-2024

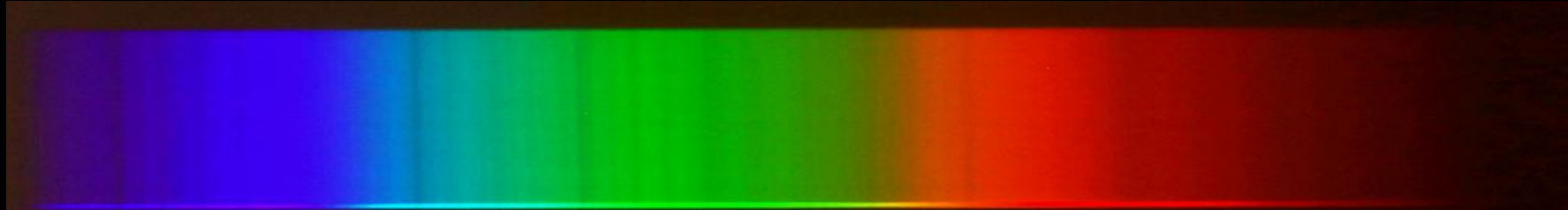
C6d2 200mm f/2.8 @f/8 exp=39s iso=640

d = 2 μ m



Okno skanowania widma





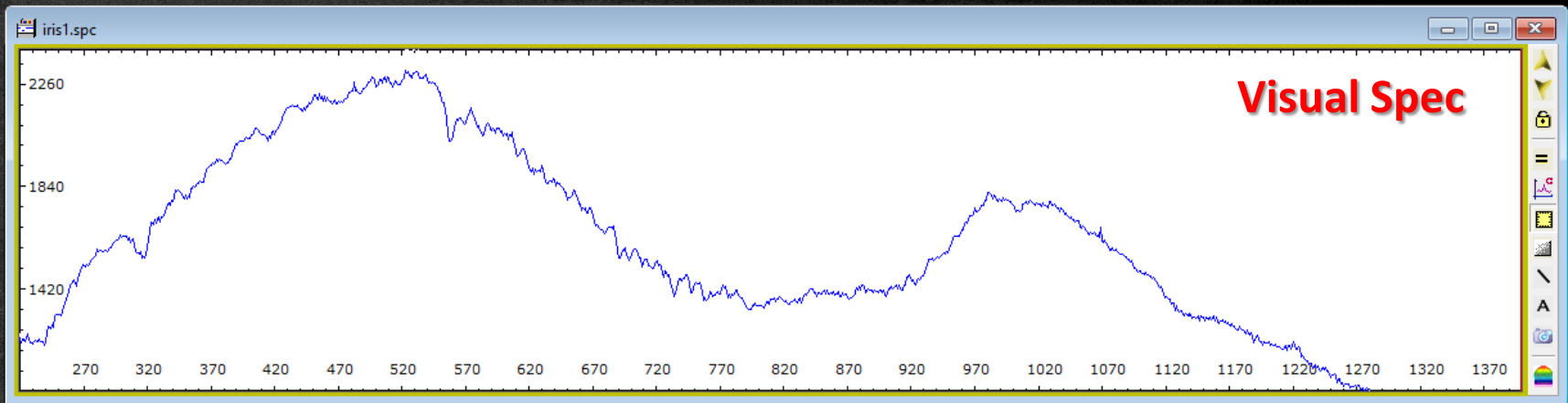
Visual Spec

File Edit Format Operations Spectrometry Radiometry Assistant Tools Batch Window Options ?

x:1 1493; 622 I 10.0 λ :0. (Å/pixel)

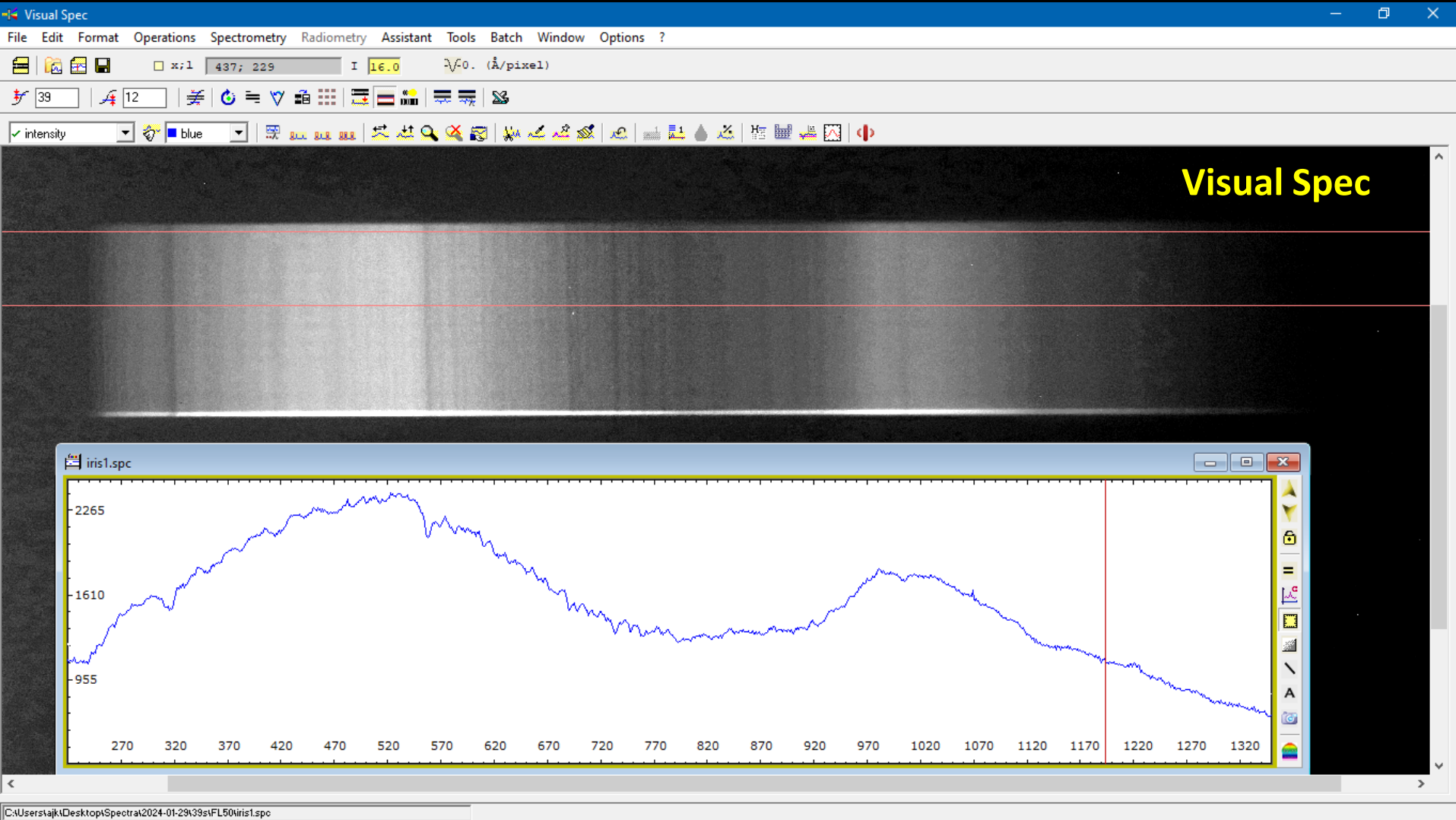
39 12

intensity blue



Canon eos 6d2

d = 2 μm



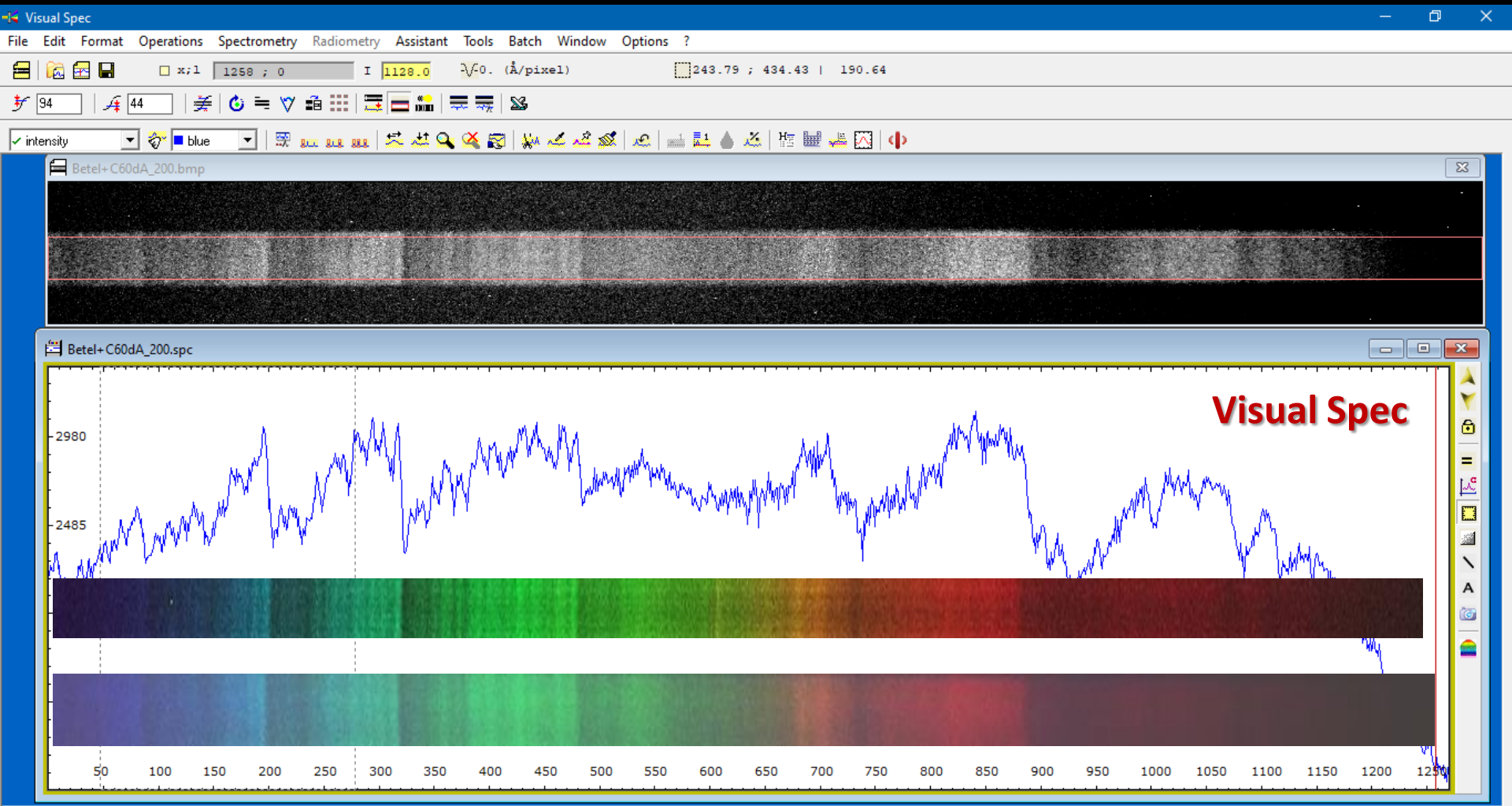
Betelgeuse Canon eos 60dAm (APS-C) ef 200mm f/2.8 exp=120s iso=1600
siatka dyfrakcyjna 500 linii/mm przed obiektywem, widmo nieco ucięte z lewej (za mała klatka)

d = 2 μm

03-02-2024

23:11

IMG_1016



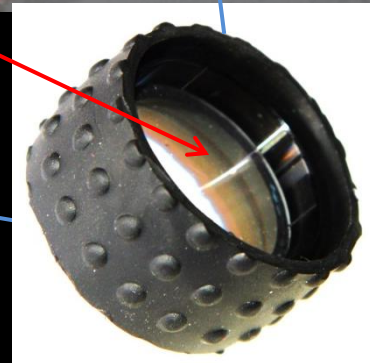
Canon ef 200mm f/2.8L, siatka dyfrakcyjna Star Analyser SA-100 lub SA-200 wstawiona pomiędzy obiektyw i korpus Canona 6d2, $l = 55\text{mm}$, mocowanie „na wcisk” w dopasowanej do kształtu otworu w obiektywie tulejce gumowej

2b



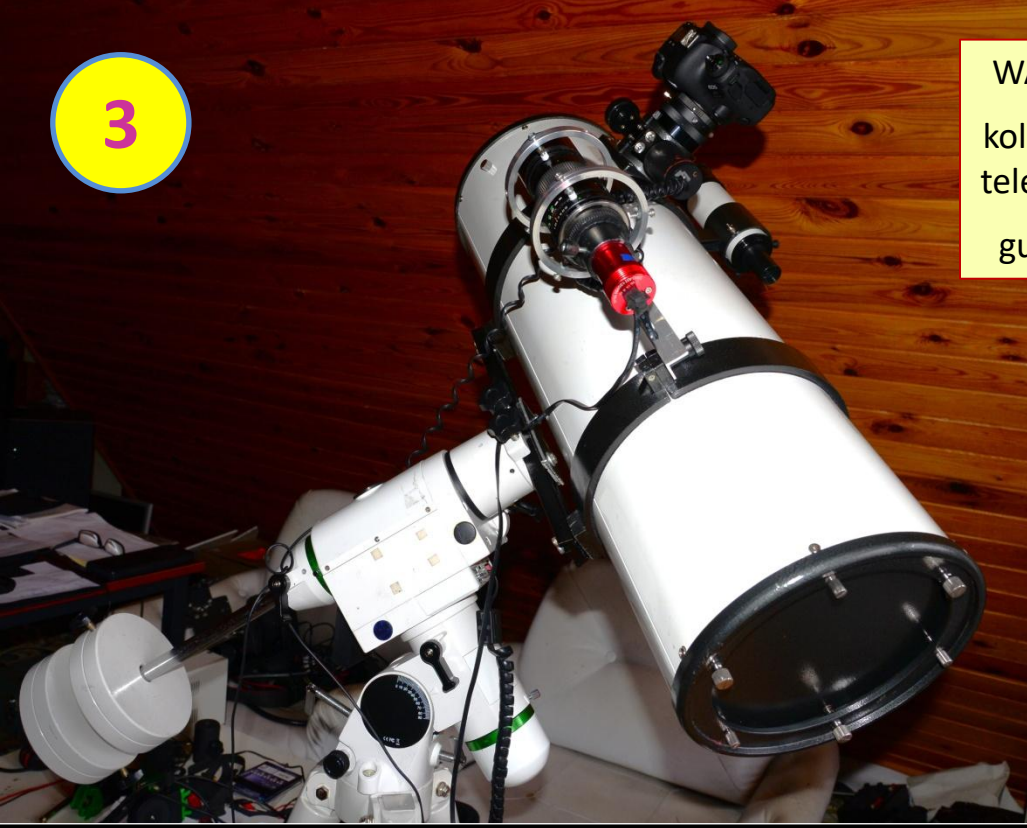
Star Analyser 100 / 200

Tulejka gumowa



3

WAŻNE:
kolimacja
teleskopu
guiding



Mocowanie sitki dyfrakcyjnej 500 linii/mm w filtrze UV 40,5mm, do matrycy ~ 45mm



STAR ANALYSER 100



A2 + przejściówka
M42-M28
+ tuleja T2-T2

regulowana odległość
siatka – matryca
46-56 mm

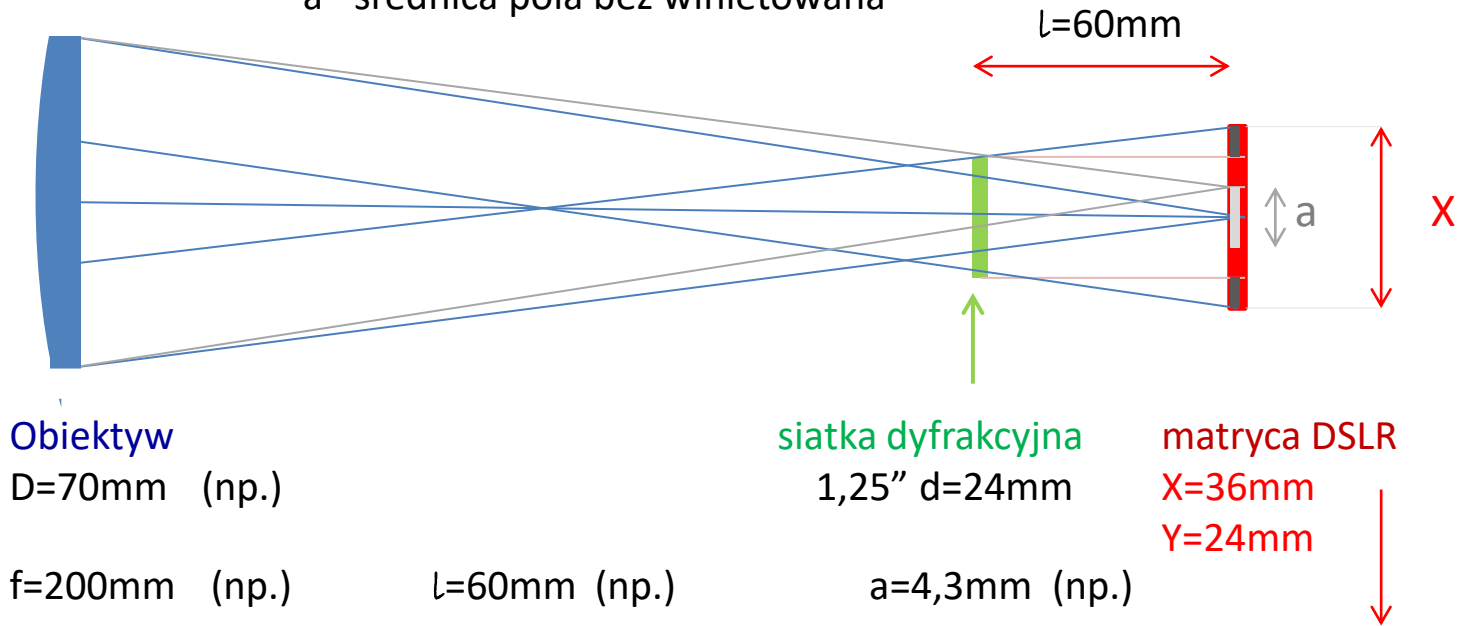


TD + nosek T2-1,25"
+ tuleja 2" / ϕ_w 1,25"
do matrycy 85mm

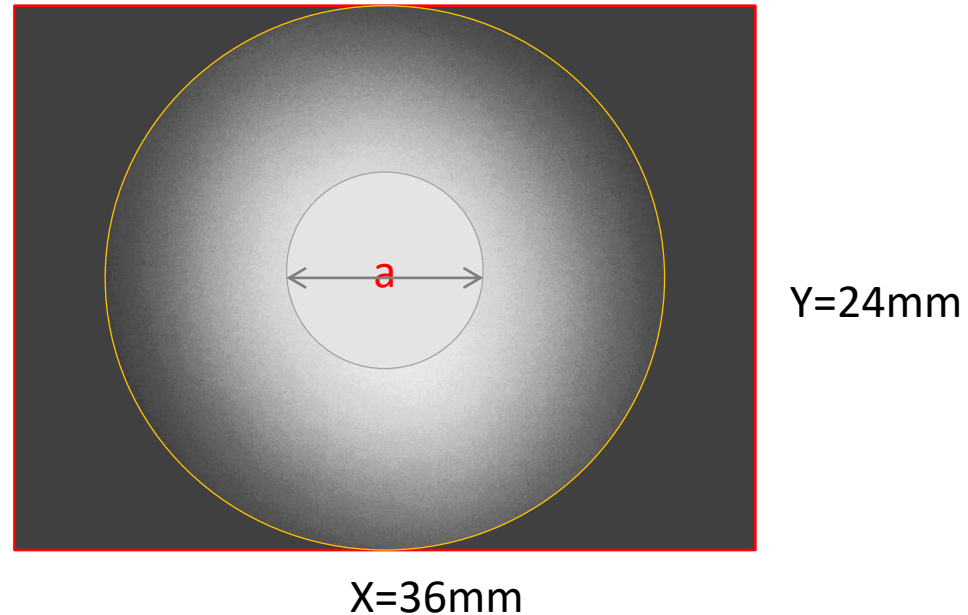
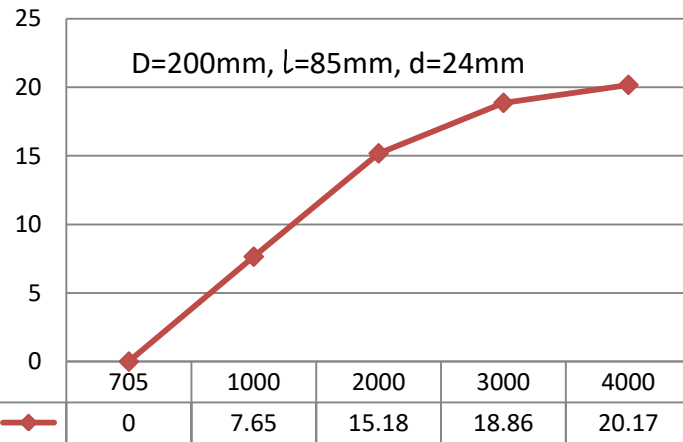


Winietowanie (vignetting)

a – średnica pola bez winietowania



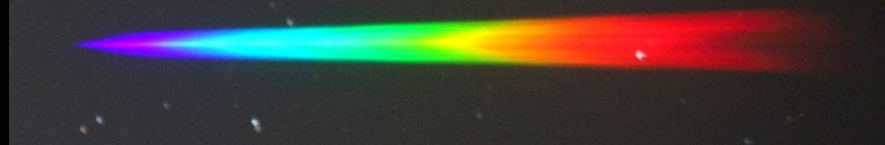
$$a = (d \cdot f - D \cdot l) / (f - l)$$



Newton 8" f=800mm + Canon 6d2 FF

l – odległość matryca – siatka dyfrakcyjna $2\mu\text{m}$

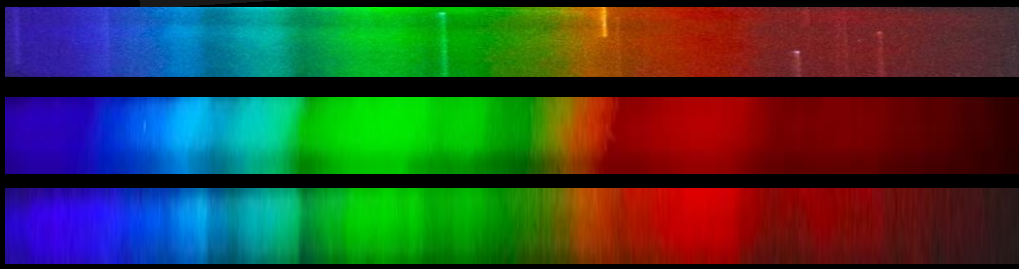
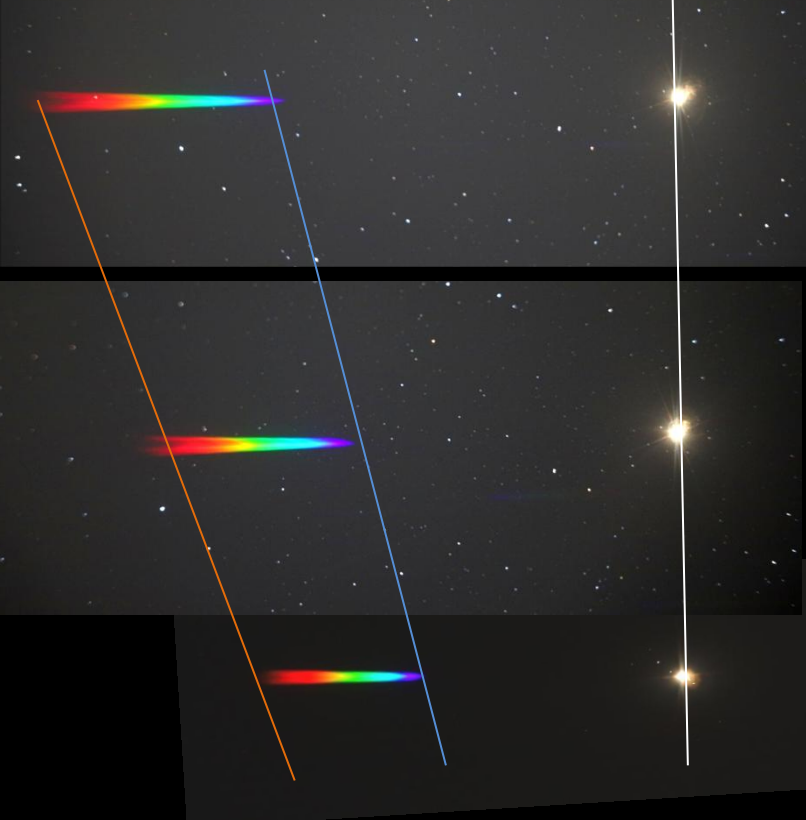
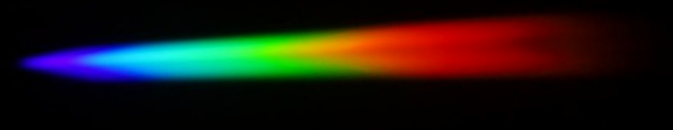
$l = 75\text{mm}$



$l = 55\text{mm}$

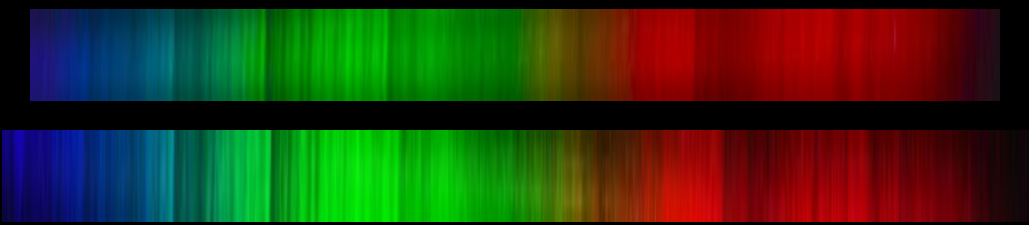


$l = 45\text{mm}$



\leq Betelgeuse dla $l = 55\text{mm}$
najlepsze widma, **Newton + 6d2**

siatka dyfrakcyjna $2\mu\text{m}$



f=200mm f/2.8 **Canon 60dAmod**



j.w.

j.w.

Newton 8" f=800mm + Canon 6d2 FF destrukcja widma przez aberrację komatyczną



Najlepszej jakości widma są dla obiektywu 200 mm i siatki umieszczonej przed obiektywem.

Canon 60dAmod 200mm f/2.8 @f/2.8, siatka przed obiektywem na filtrze UV, średnica 70mm



60dAmod



M42, Soligor 8", Canon 6d2

siatka przed matrycą $\ell = 46 \text{ mm}$

M42

Siatka dyfrakcyjna $2\mu\text{m}$

M42

Iso=3200 exp=30s

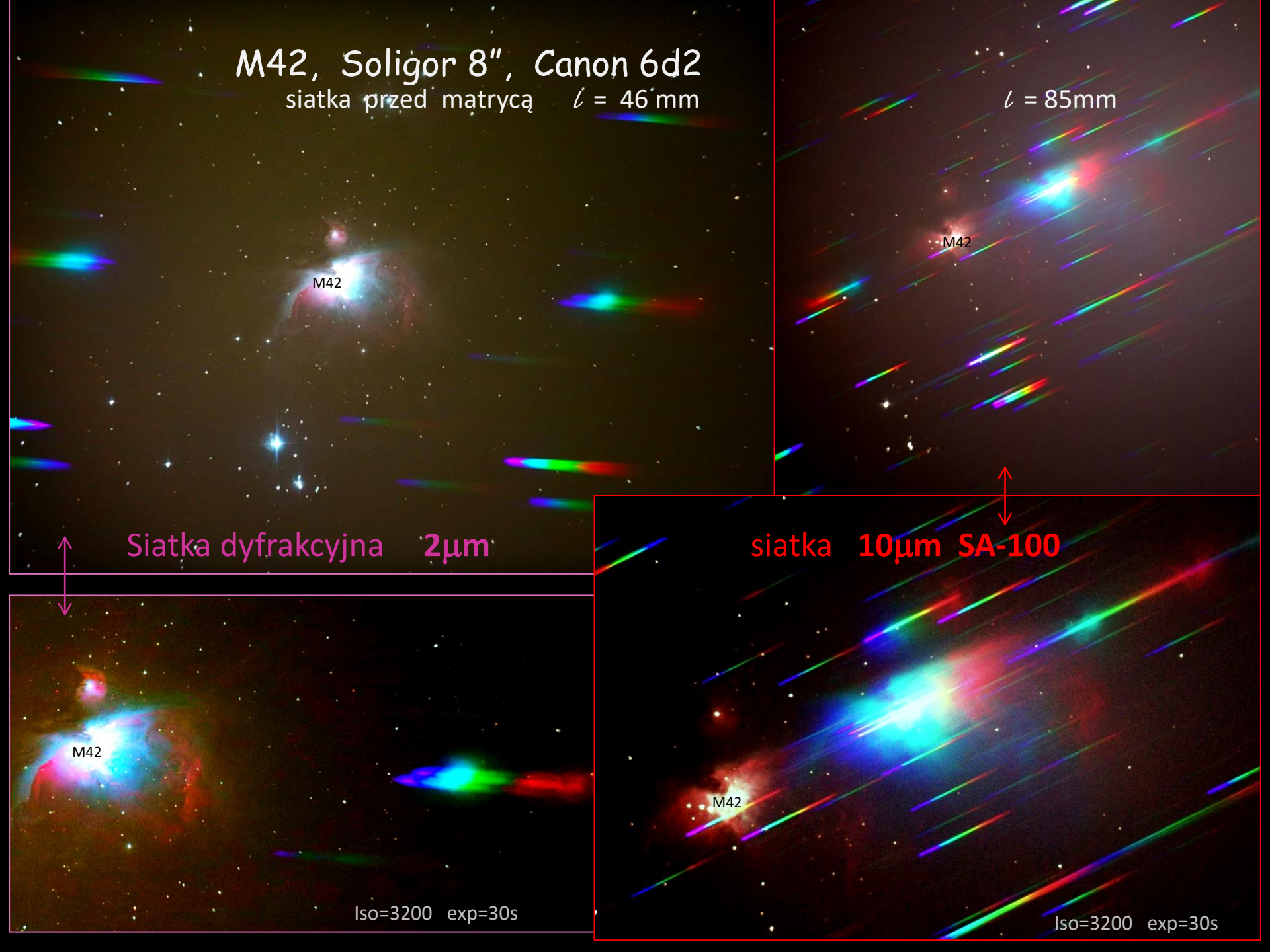
$\ell = 85 \text{ mm}$

M42

siatka $10\mu\text{m}$ SA-100

M42

Iso=3200 exp=30s



Soligor (Newton) 8" f/4 (f=800mm), **Siatka 100 linii/mm**, 10 μm , 85mm do matrycy 6d2 FF

siatka 10 μm

M45



Absolutnie ważna **ostrość** i **małe rozmiary gwiazd** !

Teleskop powinien mieć możliwie małą komę

Lepiej zamiast FF (25 Mpix) użyć APS-C (25 Mpix)

Widma SA dają dużo mniejszą rozdzielczość niż te z siatką 500 linii/mm i obiektywem 200mm.

Przewaga dużej apertury (8" lub 10") – można uzyskać dobrej jakości widma słabych obiektów.

Generalnie siatka **Star Analyser** jest optymalnym rozwiązaniem dla teleskopów długoogniskowych typu Cassegrain, nie dla newtonów o f/4.

Rozwiązaniem dla krótkoogniskowych apertur jest umieszczenie siatki w możliwie blisko matrycy i mniejsze czynne pole widzenia, używać APS-C lub CCD o małych rozmiarach chipu < 15x15 mm



Soligor (Newton) 8" f/4 (f=800mm), **Siatka 100 linii/mm**, 10 μm , 85mm do matrycy 6d2 FF



Absolutnie ważna **ostrość** i **małe rozmiary gwiazd** !

Teleskop powinien mieć możliwie małą komę

Lepiej zamiast FF (25 Mpix) użyć APS-C (25 Mpix)

Widma SA dają dużo mniejszą rozdzielczość niż te z siatką 500 linii/mm i obiektywem 200mm.

Przewaga dużej apertury (8" lub 10") – można uzyskać dobrej jakości widma słabych obiektów.

Generalnie siatka **Star Analyser** jest optymalnym rozwiązaniem dla teleskopów długoogniskowych typu Cassegrain, raczej nie dla newtonów o f/4.

Rozwiązaniem dla krátkoogniskowych apertur jest umieszczenie siatki w możliwie blisko matrycy i mniejsze czynne pole widzenia, używać APS-C lub CCD o małych rozmiarach chipu < 15x15 mm

Soligor 8" f/4

Siatka 2 μm

ok. 46 mm od matrycy

Canon eos 6d2

ISO=2000

Exp=30s

Siatka 10 μm Star Analyser

85 mm od matrycy

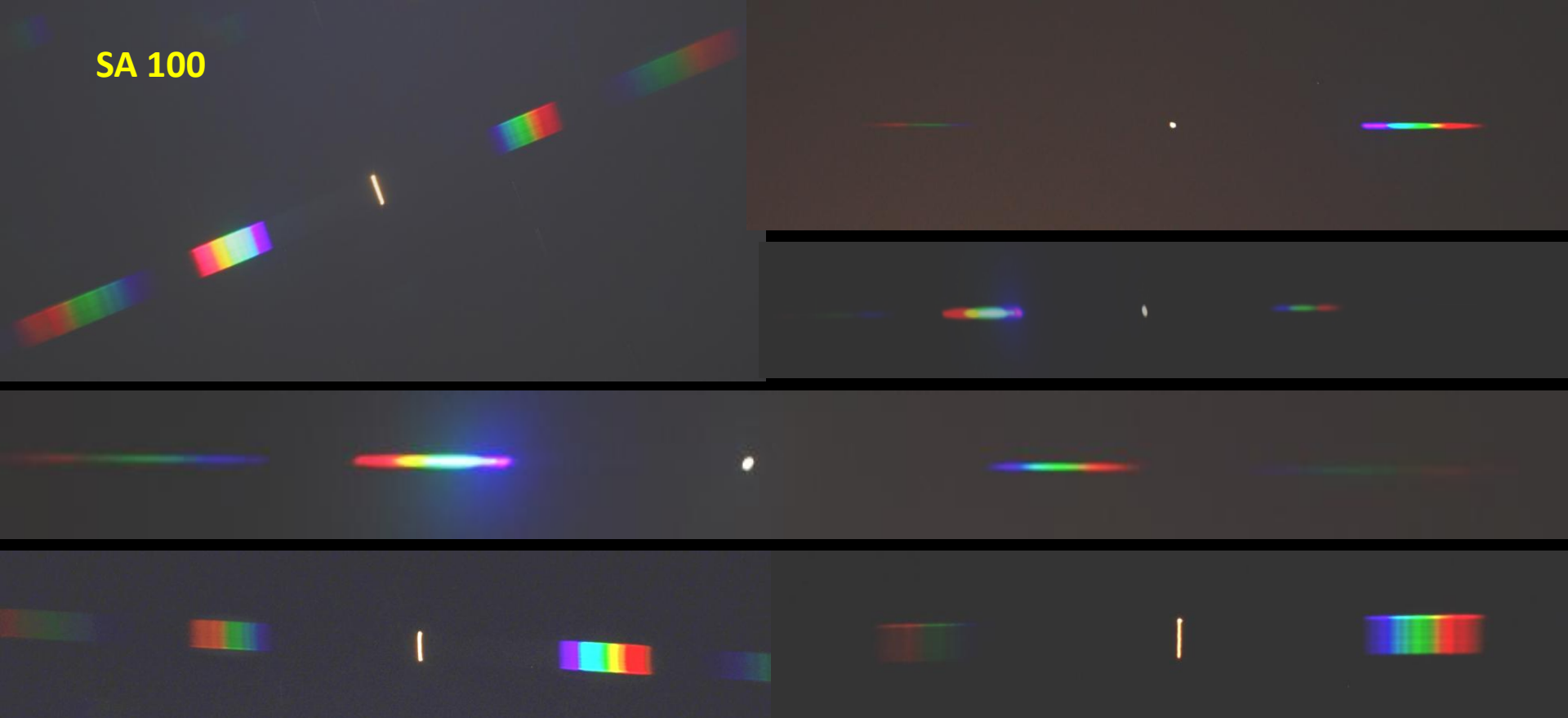
ISO=1600

Exp=30s

poszerzenie w RA

Różne orientacje siatek
na obu zdjęciach

SA 100



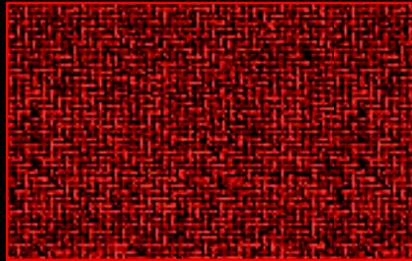
Możliwość wykorzystania widm 1-go i 2-go rzędu



4

Canon eos 6d2 i Sigma 105 mm f/1.4 @f/2 + dodatkową osłoną z grzałką
siatka dyfrakcyjna (SD) 500 linii/mm, pomiędzy dwoma filtrami UV

19,5 deg.



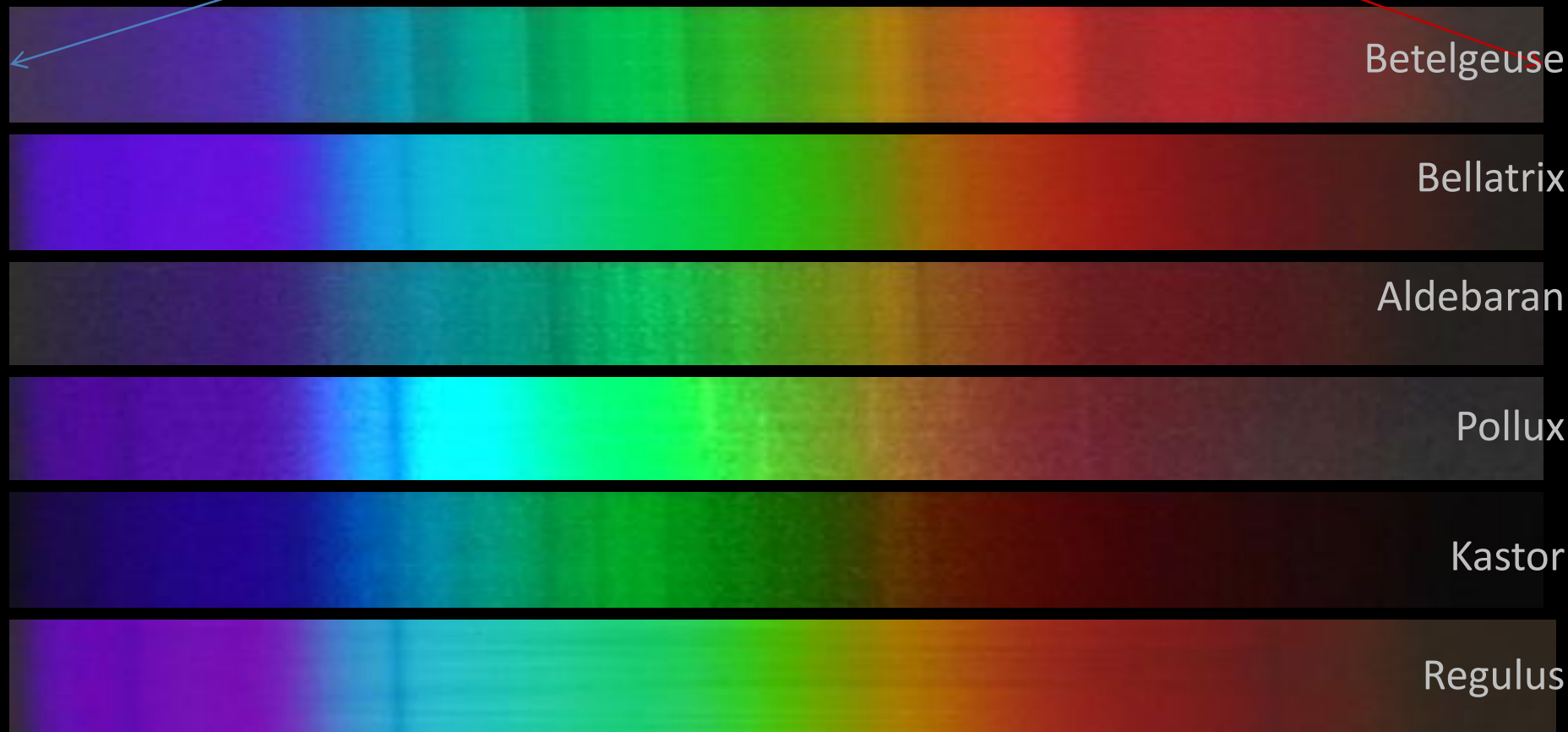
13 deg.

Matryca Canon 6d2 FF



19,5 deg.

IMGs_1541-1560 22.03.2024 23:09 iso=640 f/4.5 exp=60s



Siatka SA 100 linii /mm z obiektywem 105mm f/1.4 Sigma

Najlepsze widma (#2)

5

Canon FD 500/4.5L

siatka dyfrakcyjna na wewnętrznym filtrze UV
ok. 155 mm od matrycy. Siatka $d = 2$ mikrony



Canon ef 200/2.8L siatka 500 l/mm ($2\mu\text{m}$)
40mm od matrycy, niestety marne obrazy widm.

Obiektyw 500mm f/4.5L ma filtr ok. 110 mm od
matrycy, niestety też daje złe (**koma**) obrazy widm

obydwa pokazane tu rozwiązania to **bad solutions**