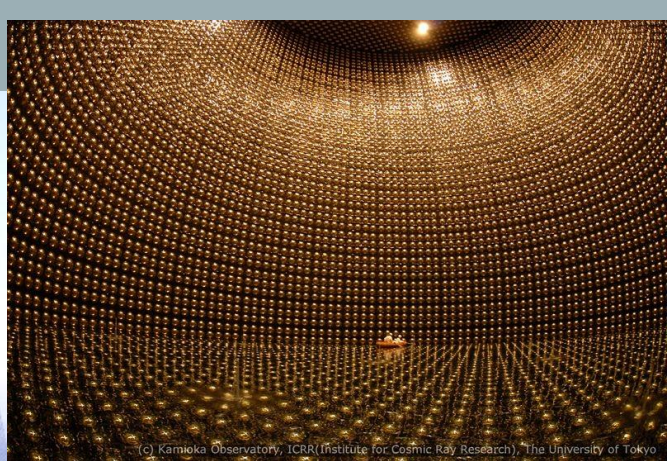
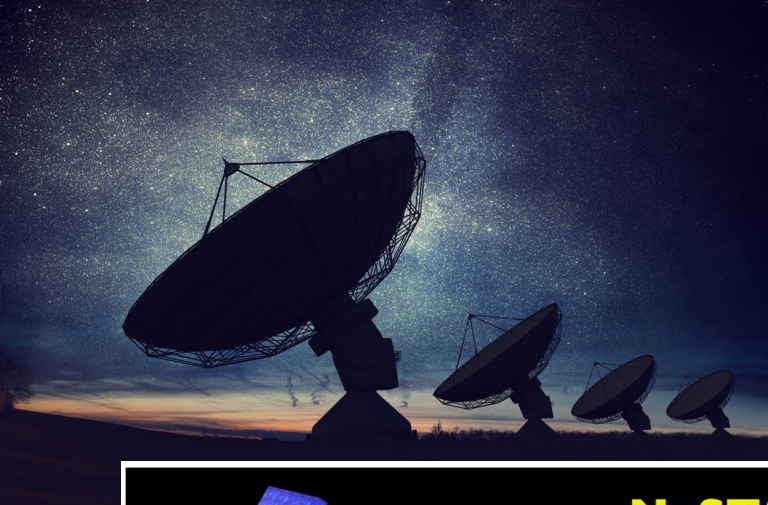
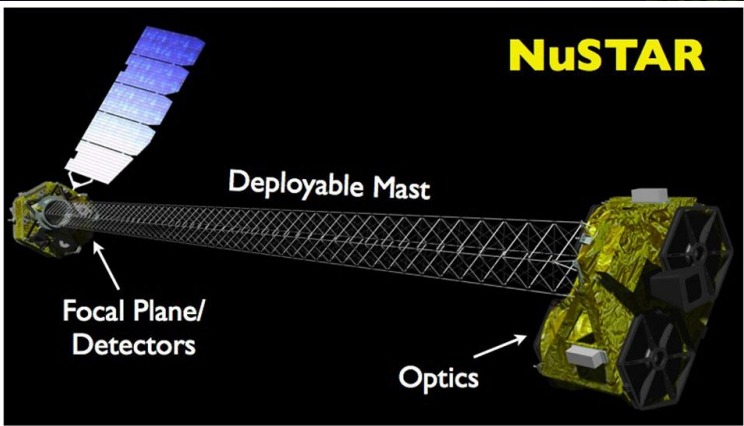


Особливості оптичних схем телескопів та основи астрофотографії об'єктів далекого космосу.

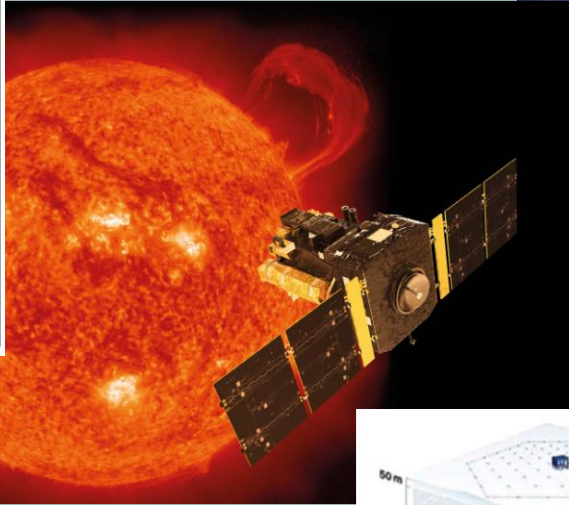
А.В. Ревун, "ТерАстро", Лозівська шкільна астрономічна обсерваторія,
Ю.М. Стоянов, ТНТУ ім. І. Пулюя, "ТерАстро"



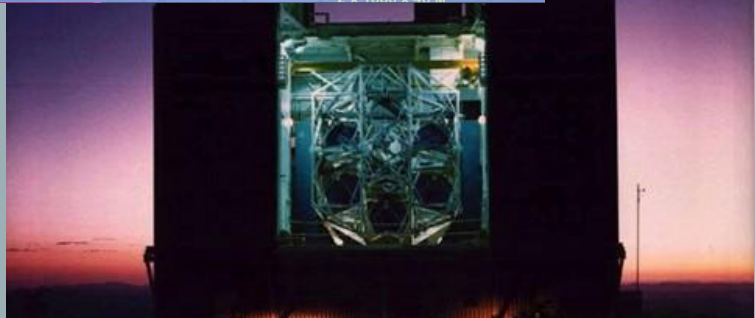
© Kamioka Observatory, ICRR (Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo



NuSTAR



ДКР-1000 Пушчино-на-Оке
Крест из двух параболических цилиндров
2 x 1000 x 40 м



GEO600 (British-German)
Hannover, Germany



TAMA (Japan) Mitaka



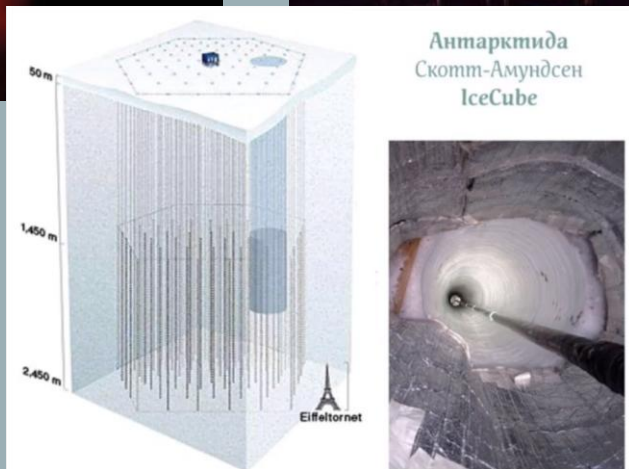
LIGO (USA)
Hanford, Livingston



AIGO (Australia),
Wallingup Plain

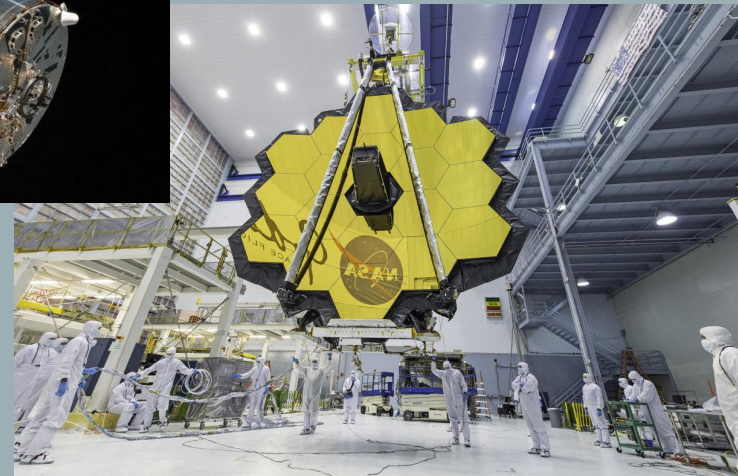
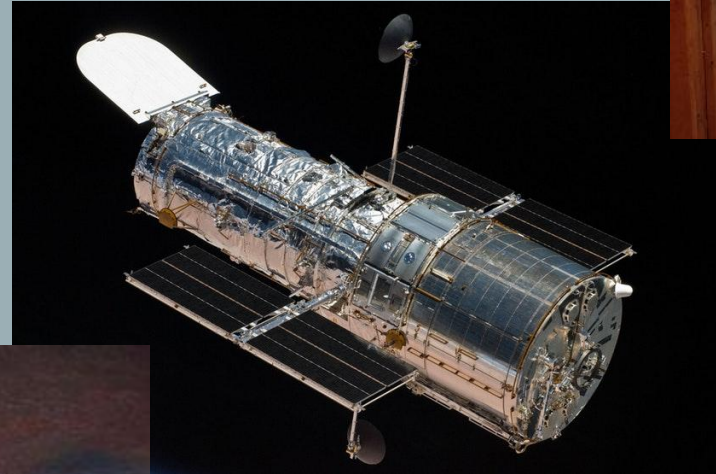
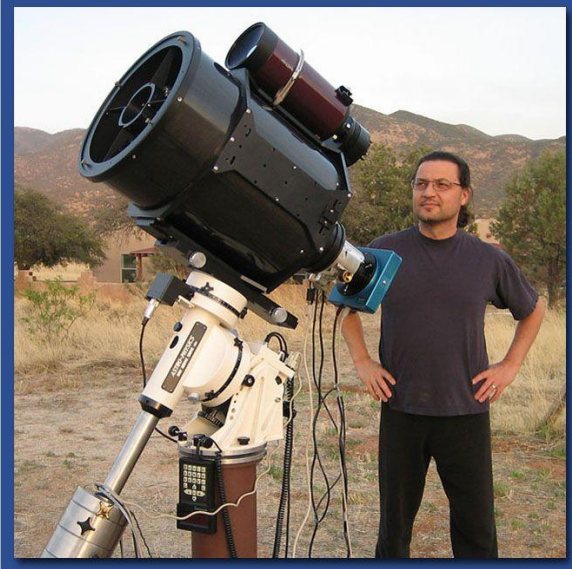
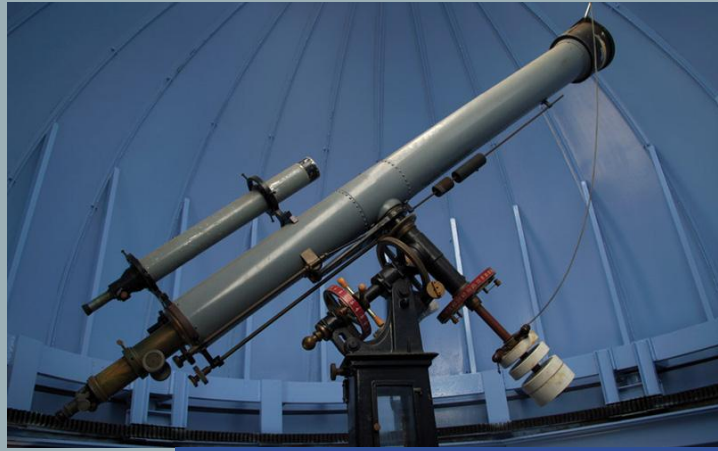


VIRGO (French-Italian)
Cascina, Italy



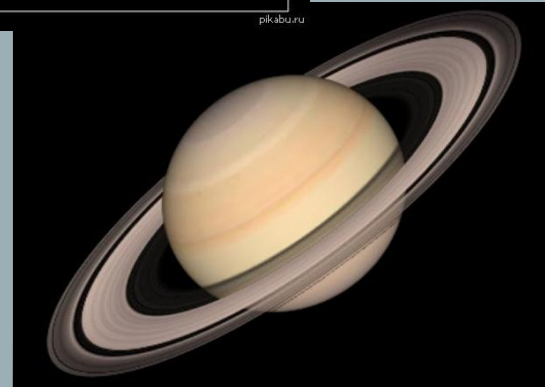
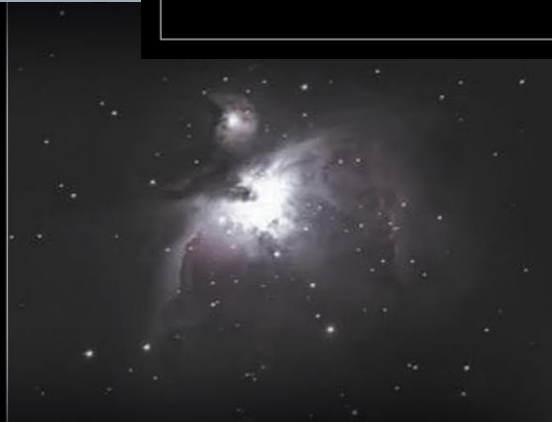
Антарктида
Скотт-Амундсен
IceCube





Для чого взагалі потрібні телескопи?

- Для отримання світлішого, більшого зображення з кращою деталізацією.
... ну як... кращою ніж можна побачити власними очима.



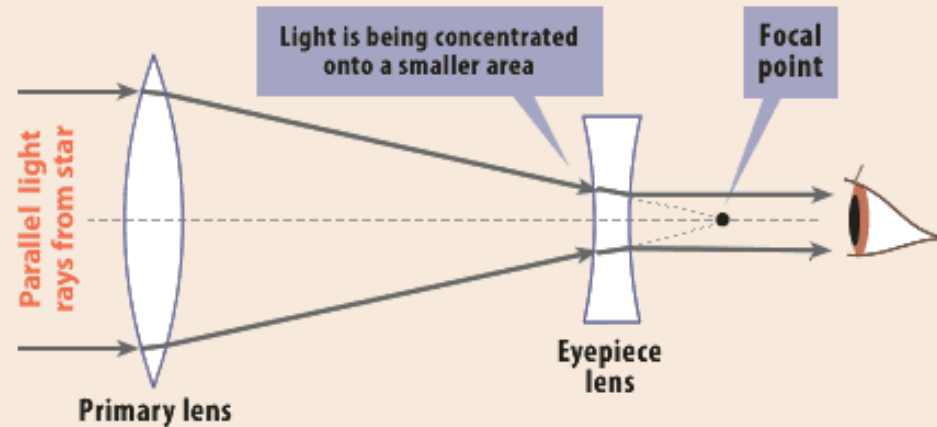
Історія розвитку оптичних схем

GET TO THE ROOT OF IT 🦋

Galileo's refracting telescope (1609)

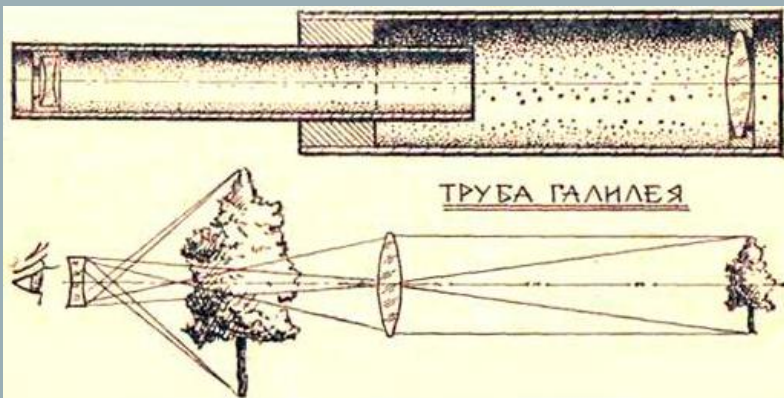
Galileo's refractor used two lenses to concentrate the light from celestial objects, delivering more light to the human eye than it can gather on its own. The light was refracted through a **spherical** lens, forming an image.

The spherical shape of Galileo's primary lens made the images blurry. The lens also split light into colors, creating a fringe of color around bright objects.



This **convex** spherical lens (called the primary lens) collected and concentrated the light ...

... and this **concave** eyepiece lens made the concentrated light rays parallel again.



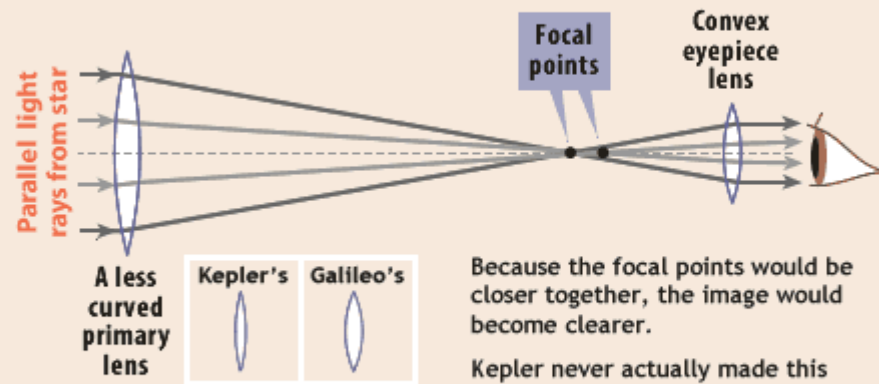
Телескопи рефрактори

GET TO THE ROOT OF IT 🦋

Kepler's design for an improved refractor (1611)

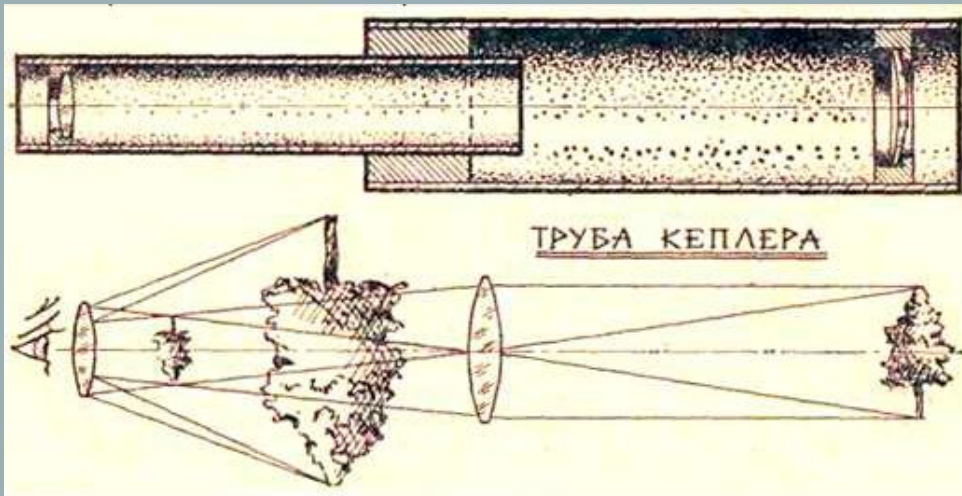
Any **spherical** lens brings light rays to many **focal points**, resulting in blurry images. Kepler envisioned a less curved spherical **primary lens** with a longer **focal length** than Galileo had used. The less curved lens would make light rays travel farther before they crossed, bringing the focal points closer together. This would reduce, but not eliminate, image fuzziness.

The convex eyepiece lens would give the telescope the additional benefit of a wider **field of view**.



Because the focal points would be closer together, the image would become clearer.

Kepler never actually made this telescope, but this proposed design greatly influenced future refractors, like those of Huygens and Hevelius.



Історія розвитку оптичних схем

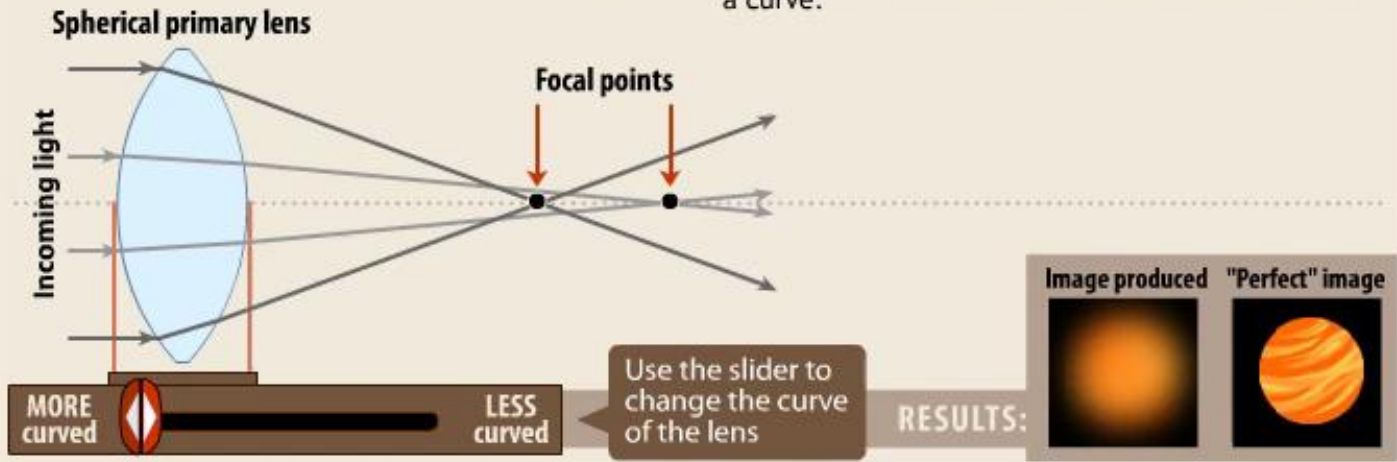
GET TO THE ROOT OF IT ✨

Reducing spherical aberration in lenses

Parallel light rays that pass through the center of a spherical lens focus farther away than light rays that pass through the edges of the lens. The result is many different focal points, which cause a blurry image.

To get a clear image, all light rays need to focus at the same point, which is impossible with a spherical lens alone. Astronomers couldn't grind non-spherical lenses, but they could make lenses that had less of a curve.

Spherical primary lens





Incoming light

Focal points

Use the slider to change the curve of the lens

RESULTS:

Image produced	"Perfect" image
	

Для зменшення впливу сферичної аберації телескопи рефрактори мають бути достатньо довгими.



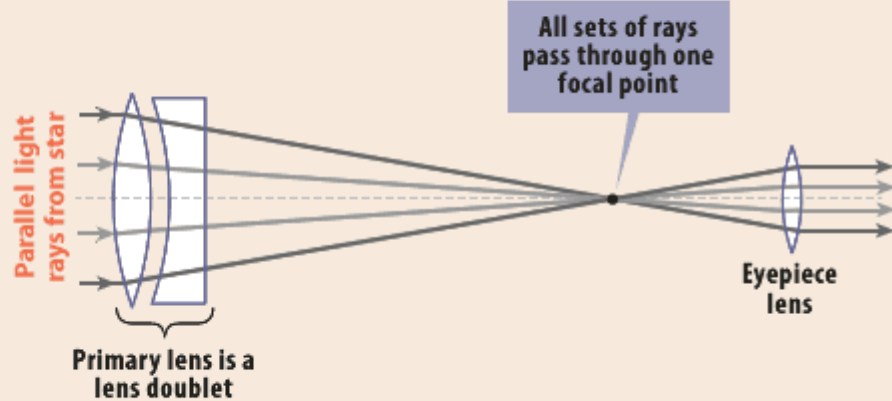
Історія розвитку оптичних схем

GET TO THE ROOT OF IT ✂

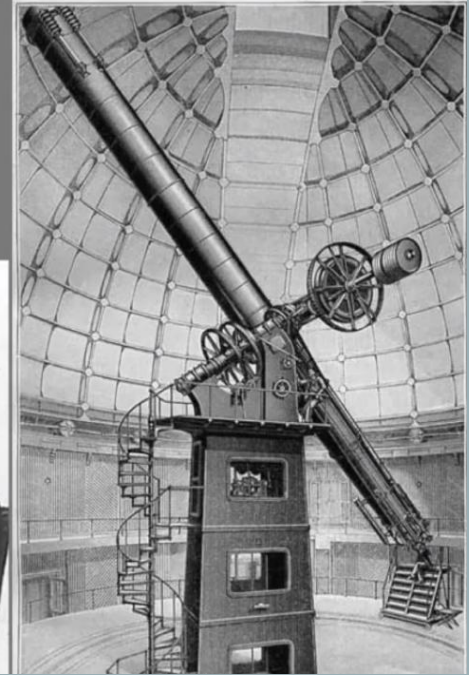
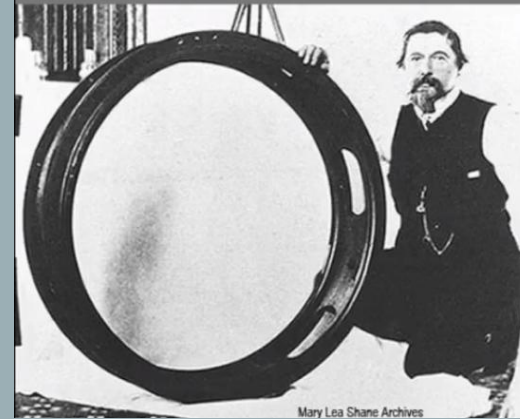
The achromatic refractor

The Great Refractors took Kepler's basic telescope design and used a lens doublet as the primary lens, resulting in the achromatic refractor.

A lens doublet consists of a pair of lenses of two different shapes and two different kinds of glass. Used together, the two different shapes and types of glass bring the light rays to a single **focal point**, eliminating both **spherical aberration** and **chromatic aberration**.



36-дюймовый рефрактор
Ликской обсерватории
(гора Гамильтон, Калифорния, 1888 г.)

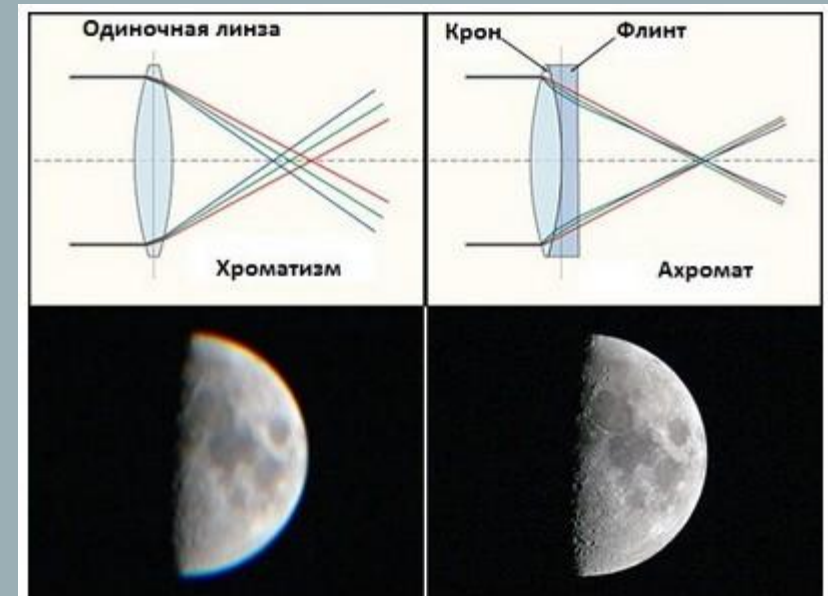
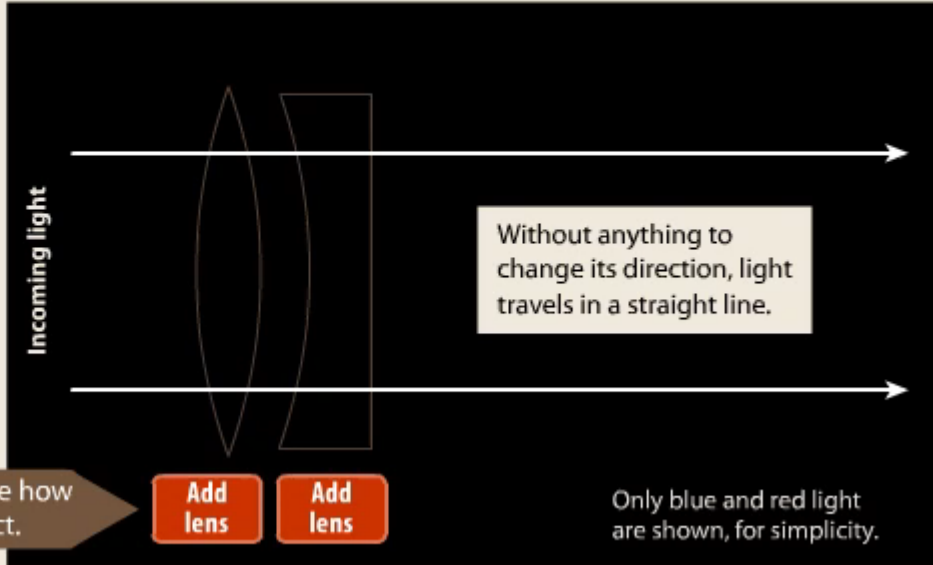


Оптичні викривлення — аберації. Хроматизм

GET TO THE ROOT OF IT ✨

The lens doublet corrects chromatic aberration

Pairs of lenses, or doublets, allow different shapes and different kinds of glass — in this case, crown glass and flint glass — to work together to bend light so its colors meet at only one point. Each lens cancels the other's light-bending effects to just the right degree.



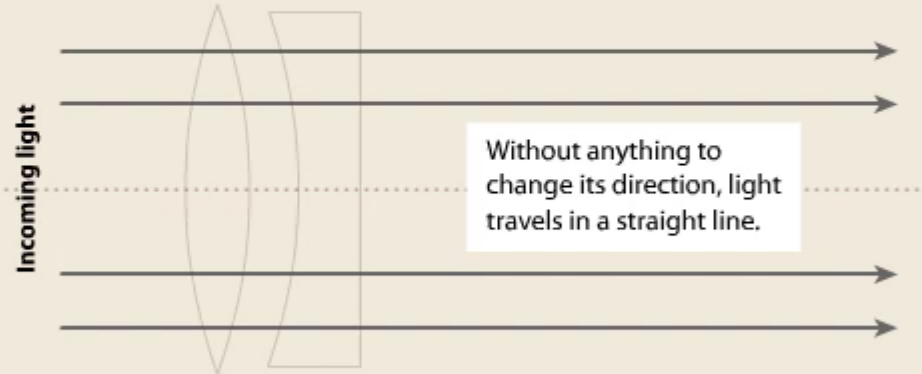
Оптичні викривлення — аберації



GET TO THE ROOT OF IT ✂

The lens doublet corrects spherical aberration

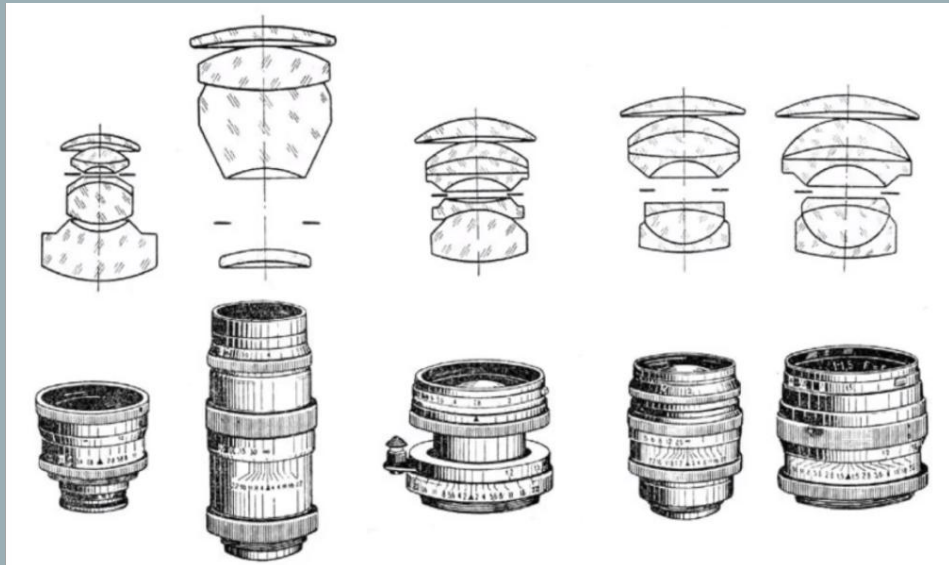
Pairs of lenses, or doublets, allow different shapes and different kinds of glass – in this case crown glass and flint glass – to work together to bend light rays so that they meet at only one point. Each lens cancels the other's light-bending effects to just the right degree.



Use the buttons to see how the two lenses interact.

Add lens

Add lens



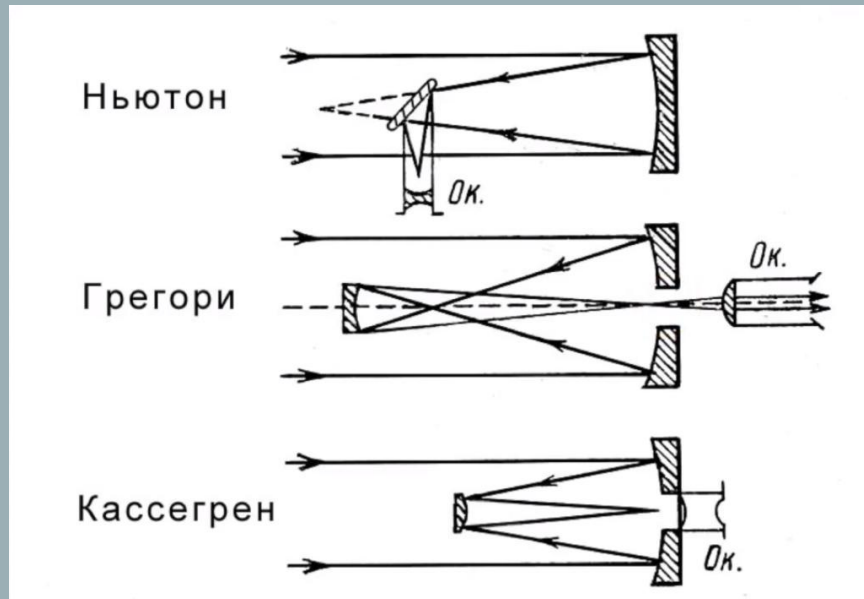
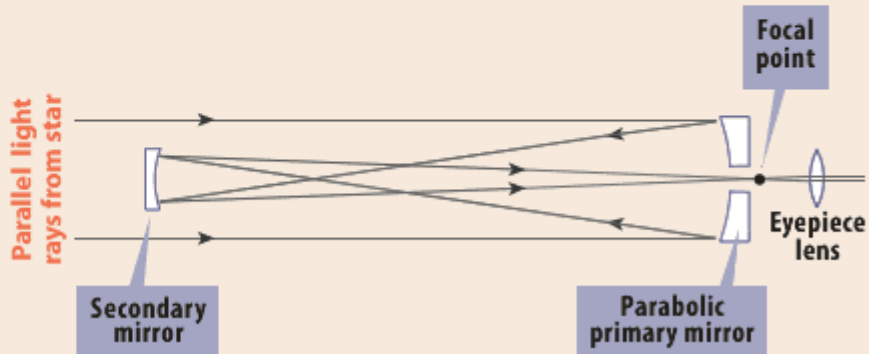
Перехід до рефлекторів. Дзеркальні телескопи

GET TO THE ROOT OF IT 🦋

Gregorian reflecting telescope (1663)

Long before the technology existed to make it, James Gregory envisioned a telescope with a **parabolic** primary mirror.

The telescope's images would have been free of both chromatic and spherical aberration. By using a mirror, rather than a lens, Gregory eliminated **chromatic aberration**. The mirror's shape was parabolic, not **spherical**, eliminating **spherical aberration**.



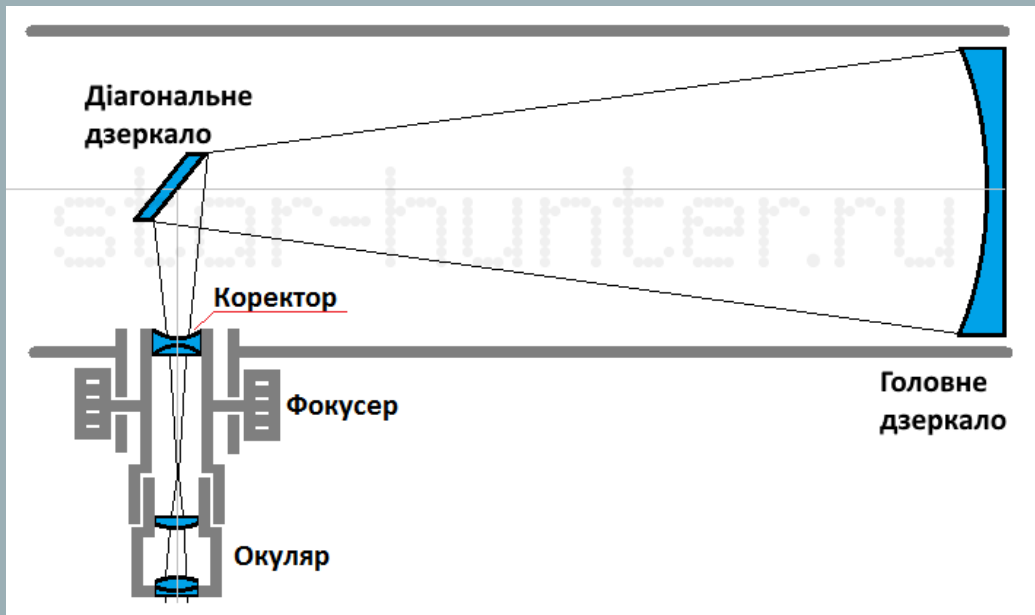
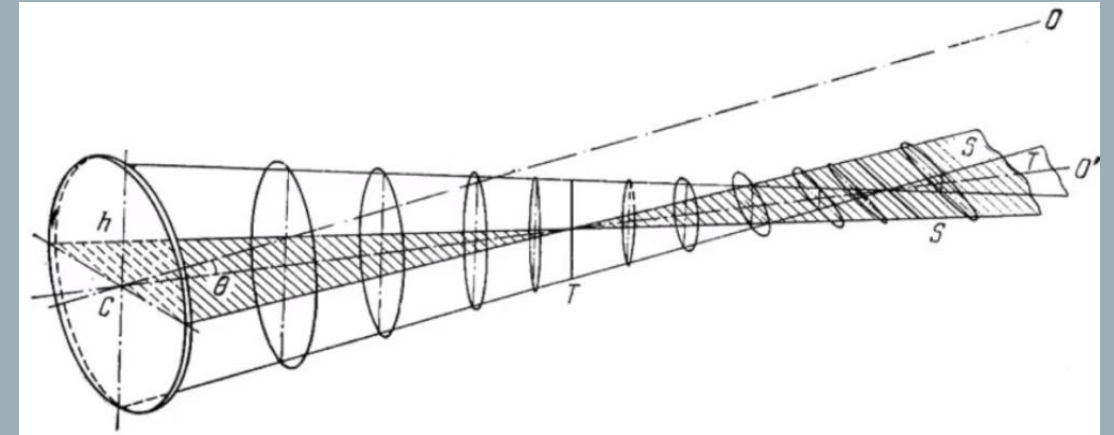
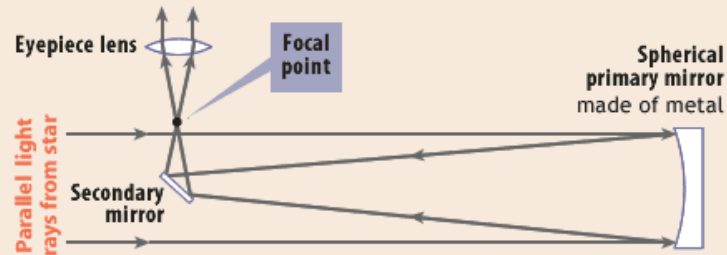
Аберації рефлекторів. Кома. Юстування

GET TO THE ROOT OF IT 🦋

Newton's reflecting telescope (1668)

Newton used a metal **primary mirror** to capture light and a **secondary mirror** to direct the light out the side of the telescope.

Newton avoided the problem of **chromatic aberration** by using a mirror instead of a lens, but he could not clear up the blurry images caused by the **spherical** shape of the mirror. This problem, called **spherical aberration**, occurs in both spherical mirrors and lenses.



Кома на краю поля зрення

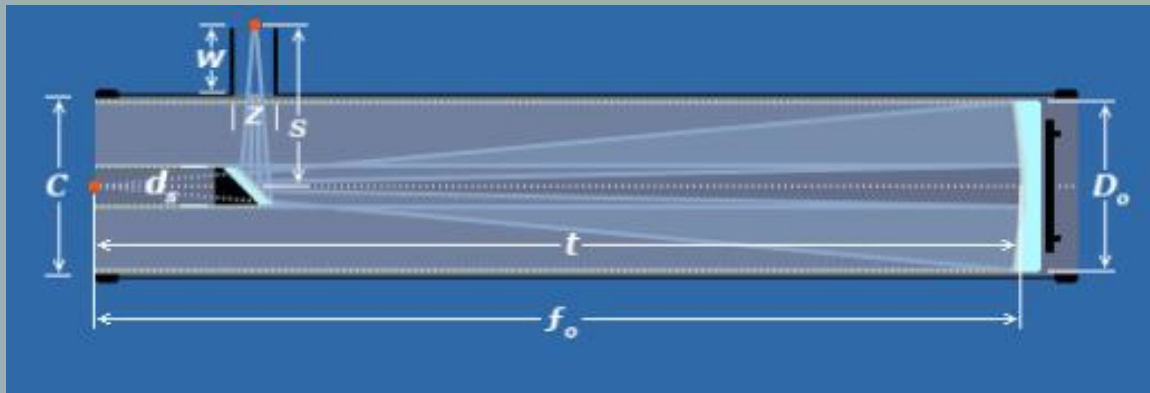
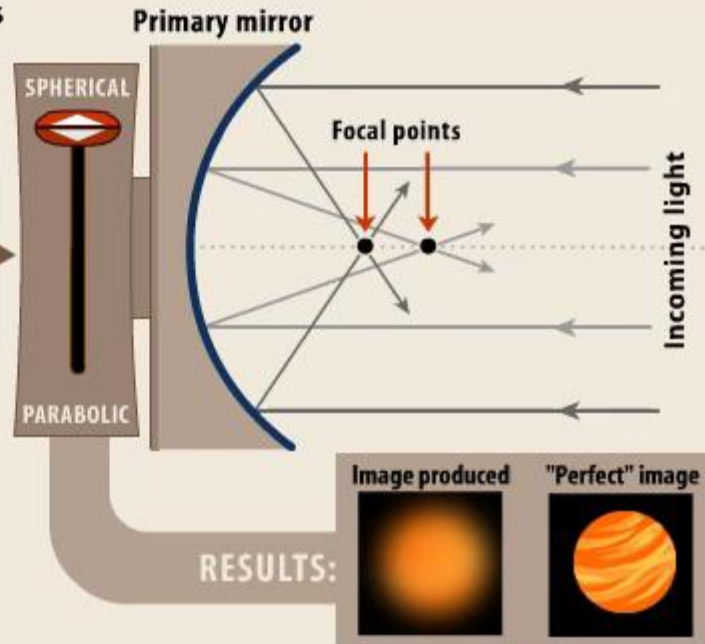
Отсутствие комы

Correcting spherical aberration in mirrors

Parallel light rays that bounce off the central region of a spherical mirror focus farther away than light rays that bounce off the edges. The result is many focal points, which cause a blurry image. To get a clear image, all rays need to focus at the same point.

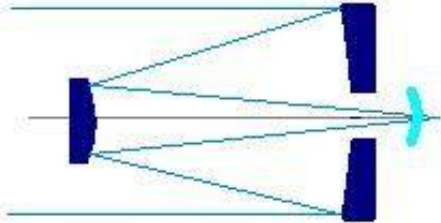
Astronomers solved the problem by changing the shape of the mirror from a sphere to a parabola. A parabolic mirror directs the light rays to a single focal point. This produces a sharp and clear image.

Use the slider to change the curve of the mirror

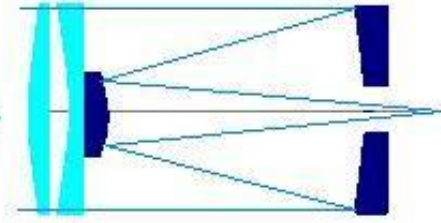


Катадіоптричні телескопи

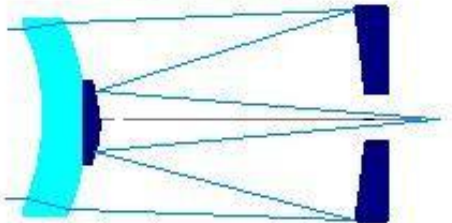
Кассегрен, Ричи-Кретъен
(с полевым компенсатором)



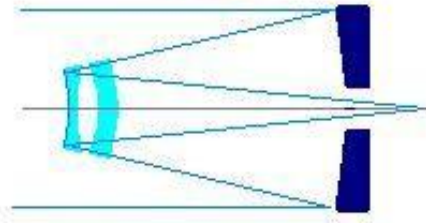
Слефогт, Волосов



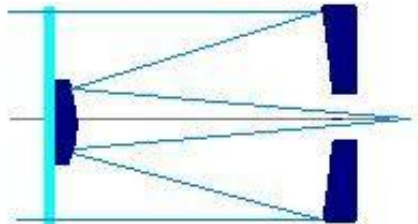
Максутов-Кассегрен



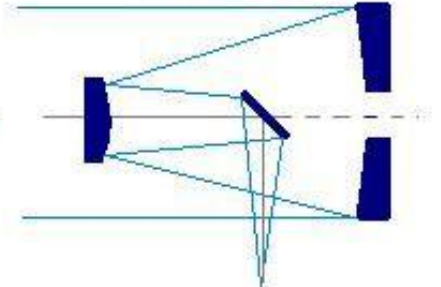
Клевцов



Шмидт-Кассегрен



фокус Несмита



Мультидзеркальні телескопи

GET TO THE ROOT OF IT 🦋

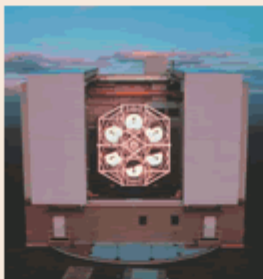
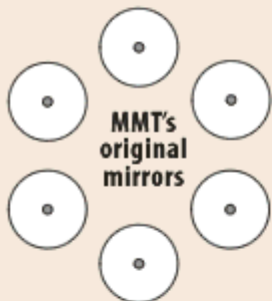
Multi-mirror telescopes

In the 1970s, several research institutions designed telescopes with multiple mirrors.

STRATEGY 1

The Multiple Mirror Telescope (MMT) in Arizona

One group built a telescope using six individual mirrors held by a single mounting. The six mirrors created separate images that astronomers lined up by using joystick-like controls. Later, computers were used to align the images.



Courtesy Dane Penland

Above, the six separate mirrors of the original MMT are visible.

STRATEGY 2

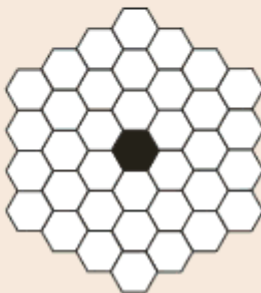
Keck I telescope in Hawaii

Another group of astronomers, at the Keck Observatory, pieced together 36 individual mirror segments into one gigantic mirror for the Keck I telescope.

One mirror segment



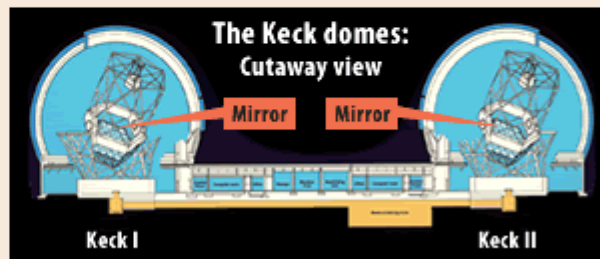
Keck I mirror



STRATEGY 3

Keck I telescope plus Keck II telescope

Eventually, scientists combined strategies 1 and 2. For example, Keck I now has a twin sister, Keck II. The telescopes' two separate mirrors can be used together to produce a single image.



Courtesy NASA/JPL-Caltech



Космічний телескоп Джеймса Веба

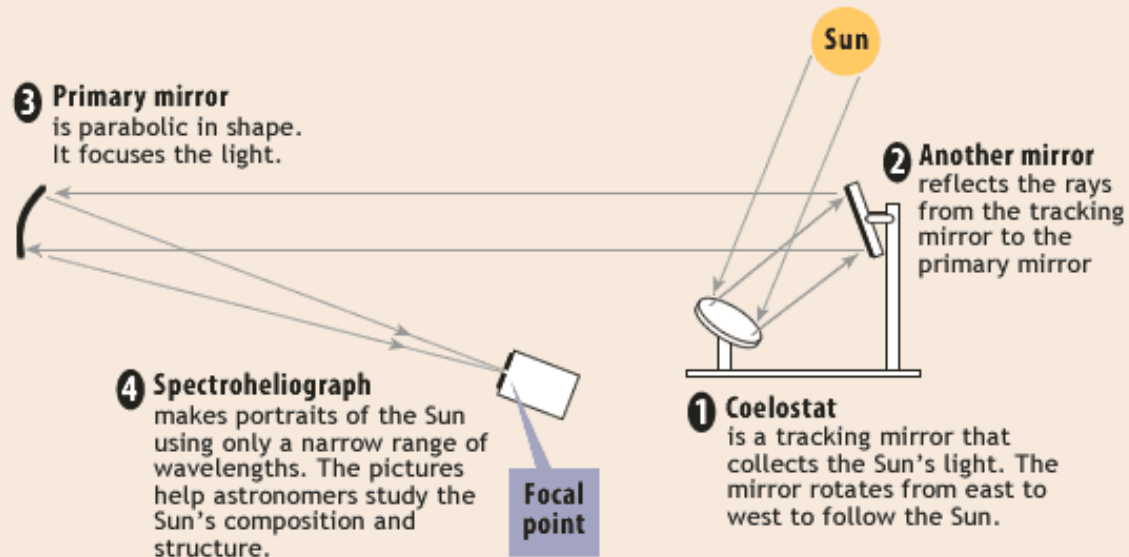
Оптичний інтерферометр Кек

Сонячний телескоп

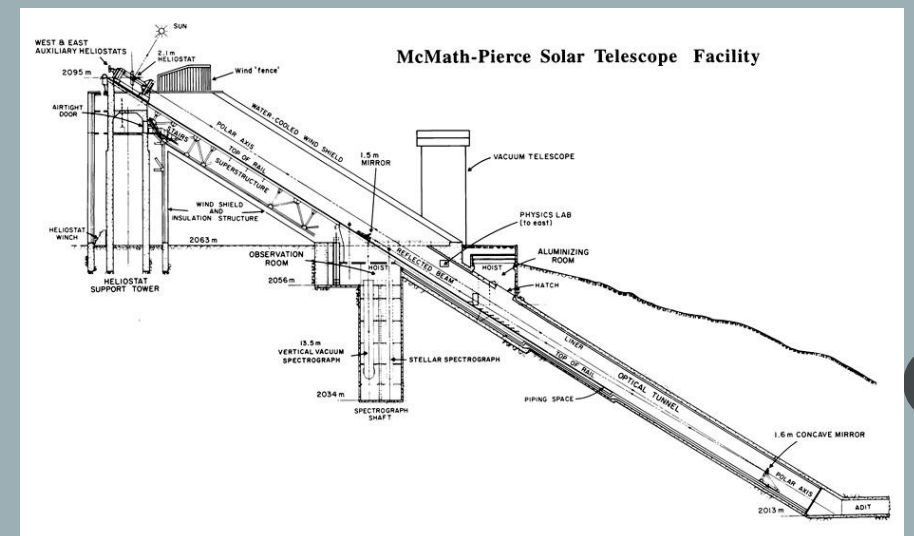
GET TO THE ROOT OF IT 🌿

The design of the Snow solar telescope

Because the Sun is so close and bright, solar telescopes do not need huge mirrors to collect light. Instead, a solar telescope needs a very long **focal length** in order to produce a finely detailed image. At the **focal point**, **instruments** study only a few **wavelengths** of the Sun's light at a time. The Snow Telescope is unique for a solar telescope in that it was laid out horizontally and it does not have a tube.



The McMath-Pierce Solar Telescope, 50 метрів в глибину по вертикалі

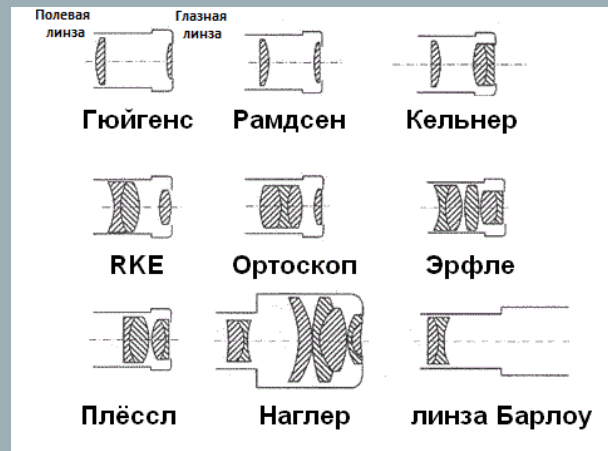


Навіска: окуляри, призми, лінзи, кома коректори



важливі параметри окуляра:

- Фокусна відстань
- Поле зору
- Винос



Формули

Збільшення телескопа:

$$\text{Magnification} = \frac{\text{Focal Length in cm}}{\text{Eyepiece Diameter in cm}}$$

Роздільна здатність:

$$\text{resolution} = \frac{116}{D}$$

$$D = \text{diameter of telescope in mm}$$

Розмір вихідного зображення:

$$w = \frac{f\theta\pi}{180}$$

$w = \text{width of image}$

$f = \text{focal length}$

$\theta = \text{apparent diameter (i.e. Moon} = 0.5^\circ)$

Максимальна зоряна величина:

$$m = 2.7 + 5\log D$$

$D = \text{objective lens diameter}$

Формули

TELESCOPIUS
ASTRONOMY PLANNING MADE EASY

TARGETS TOOLBOX ASTROPHOTOGRAPHY

Go to object, e.g. M42 Sign In / Register

Triangulum Galaxy · M 33 · Galaxy · Constellation: Triangulum

First time here? [Quick 1-min Tour](#)

OBSERVATORY PARAMETERS

Ternopil
lat: 49.8 lon: 25.8 GMT+3 Sep 9

WAXING GIBBOUS MOON
05:48 pm 01:34 am

DAYLIGHT
SUNSET 07:48 pm - 09:42 pm SUNRISE 04:52 am - 08:46 am

AVERAGE WEATHER FOR SEP 9 NIGHT:
clouds: regular seeing: excellent
7-day hourly forecast

Telescope Focal Length: 650 mm
Barlow/Reducer: 2x
Camera Sensor Width: 36 mm
Camera Sensor Height: 24 mm
Position Angle: 0° East
equivalent to 180° - 180° - 360°

Mosaic Size: 1 X 1
Panes Overlap: 10%
Show Panes Coordinates

Size: 1.1° x 41.6'
Magnitude: 5.7
Right Ascension: 01h 33' 52"
Declination: 30° 39' 29"
Surface Brightness: 23.0
Redshift: -0.0006
Sub-class: Spiral -
Distance: 2.9 M light years

External Research Links

Find out more about Triangulum Galaxy · M 33:

- Google
- Google Images
- SIMBAD Astronomical Database
- Sky View
- Fourmilab Virtual Telescope

RA 1hr 33' 52", DEC 30° 39' 29"

FoV: 1.6 × 1.1°

show reticle filter: DSS colored Re-center

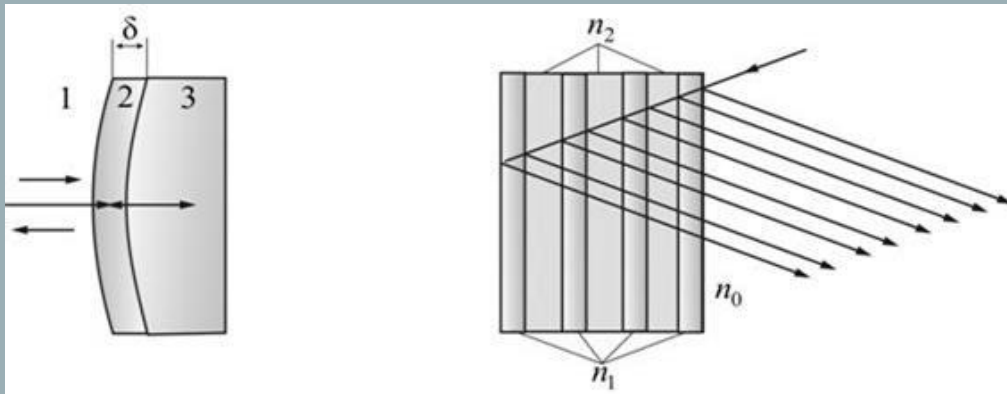
Can you help maintain this free site making a [small donation](#)?

This tool was designed to check framing, not visual magnitude. Objects will look dimmer on your eyepiece and binoculars. Views very near the celestial poles may result in inaccurate framing.

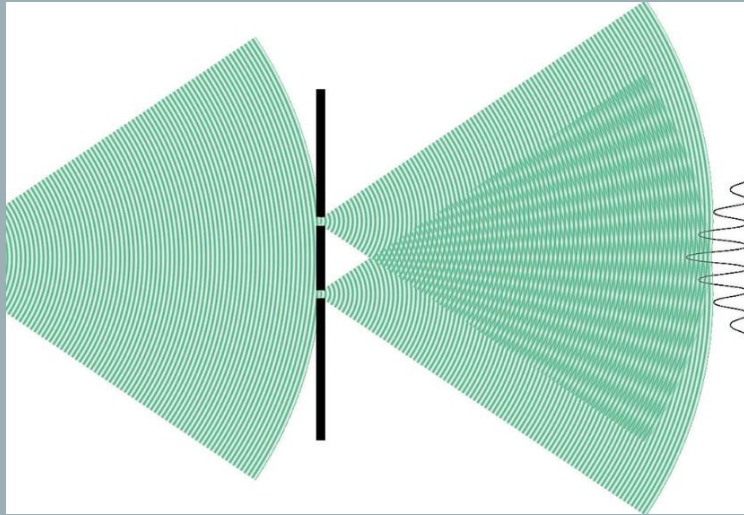
Просвітлена оптика



Ідея зменшення інтенсивності відбитого світла від поверхні оптичних деталей полягає в інтерференційному гасінні хвилі, відбитої від зовнішньої поверхні деталі 1, хвилею відбитою від внутрішньої 2. Для цього амплітуди обох хвиль повинні бути рівні, а фази відрізнятися на 180° . У цьому випадку забезпечується гасіння відбитої хвилі. Необхідна співвідношення між фазами відбитих хвиль забезпечується вибором товщини плівки δ , кратній непарному числу чвертей довжини хвилі, яка проходить через розглянуту деталь: $\delta = (2m + 1)\lambda/4$.



Просвітлена оптика



Явище інтерференції хвиль. Дослід Юнга

При належному підборі речовини і товщини плівки для певного кута падіння і певної довжини хвилі світла відбиті світлові хвилі можуть повністю погасити одна одну. Оскільки найбільша чутливість людського ока відповідає центральній частині видимої ділянки спектра з $\lambda = 555$ нм, товщину плівки здебільшого беруть рівною $1/4$ вказаної довжини хвилі. При цьому відбиття буде малим для зеленого і найбільшим для синьо-фіолетового та червоного світла (у відбитому світлі поверхня оптичної деталі матиме пурпуровий відтінок).

Смакула пропонував нанесення на оптику шару Mg_2F товщиною в $0,25$ довжини світлової хвилі.

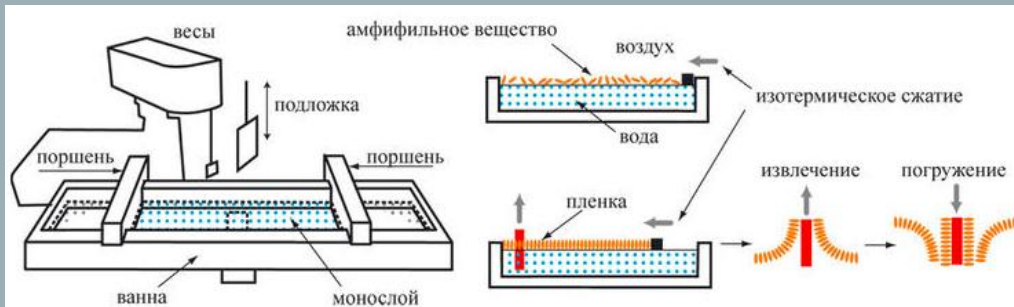


Схема отримання плівок Ленгмюра-Блоджет

- <http://tntu.org.ua/conference/tezy/2015-02-23.pdf#page=123>
- <http://www.diagram.com.ua/info/engineering-and-technology/engineering-and->

Активна та адаптивна оптика

GET TO THE ROOT OF IT ✨

Why stars twinkle: Atmospheric distortion of light

Observing stars through the atmosphere

Look up at the night sky, and you'll see that the stars seem to be twinkling. Earth's atmosphere causes this effect by bending the light in random directions. When a telescope on the ground looks up at the night sky through the atmosphere, it gets a blurry image.

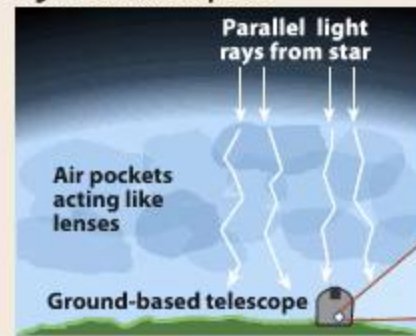
This problem is called atmospheric distortion. Astronomers avoid it as best they can by building ground-based observatories on mountaintops, where the atmosphere is thin.



Use the button to move the telescope

CLICK TO ESCAPE THE ATMOSPHERE

Light in the atmosphere



1 The uneven heating and cooling of the atmosphere creates moving bundles, or pockets, of air. These air pockets act like little lenses. The parallel light rays hit the bundles and bend in unpredictable ways.

Light hitting the ground-based telescope mirror



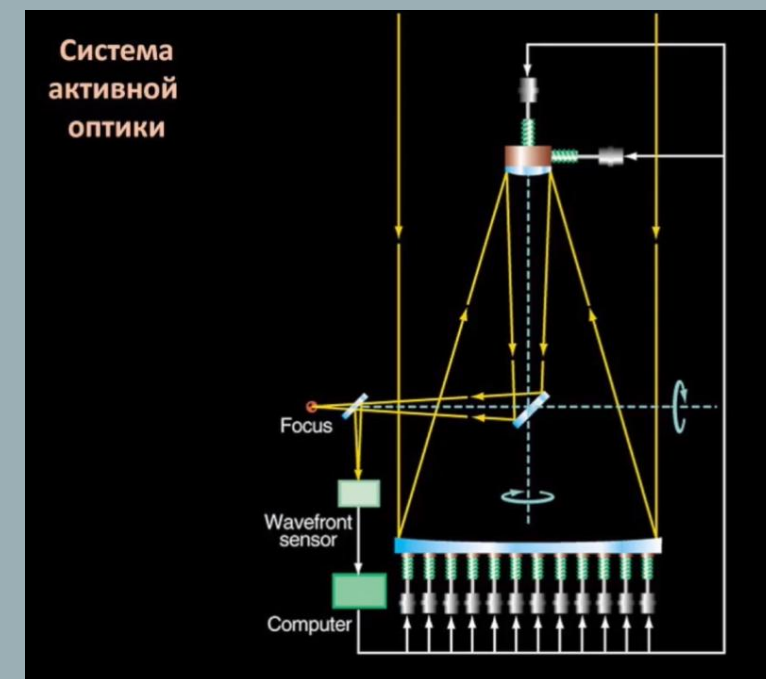
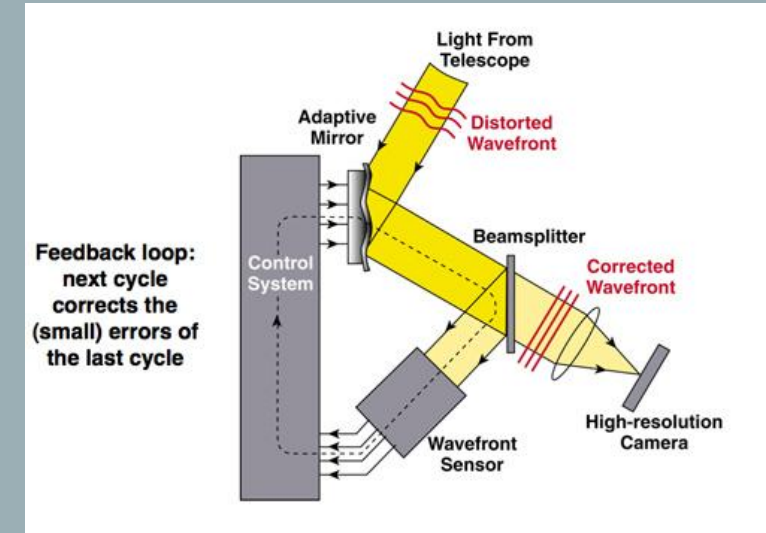
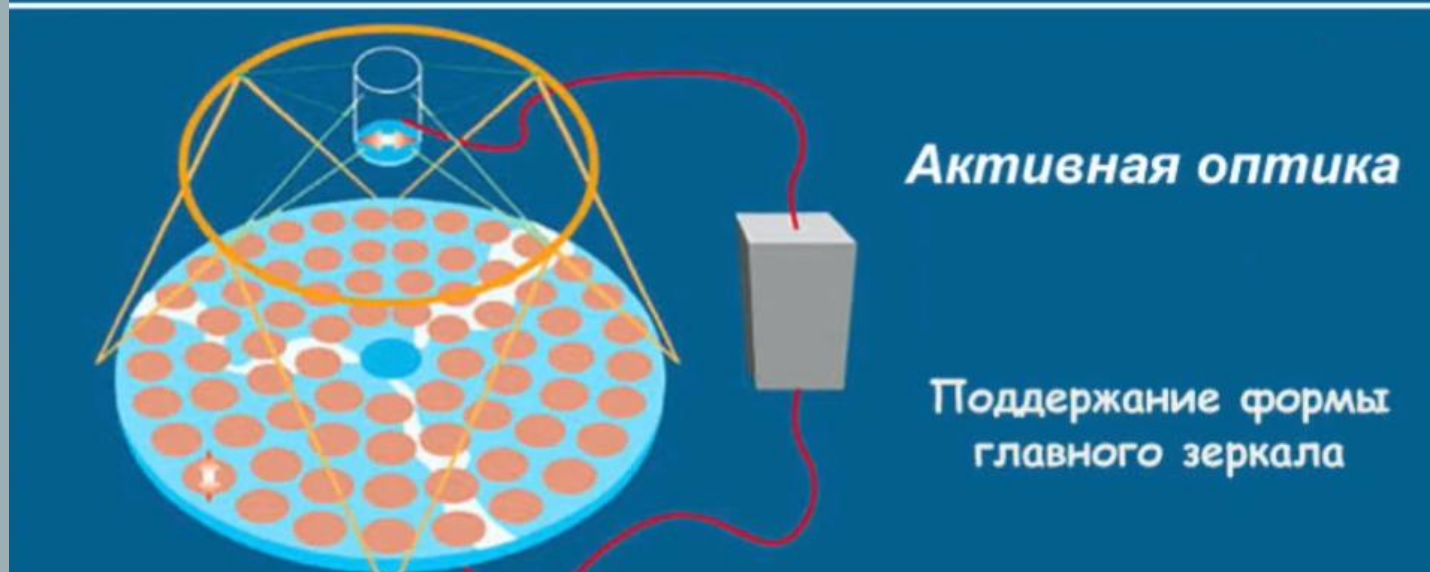
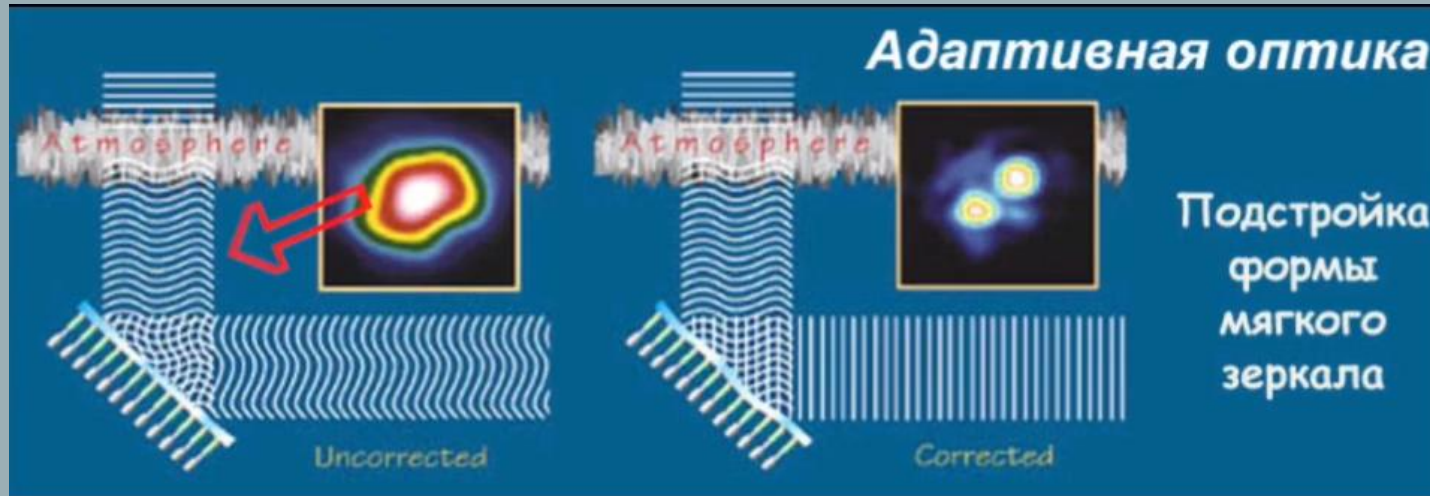
2 The light rays bent by the atmosphere hit the mirror at different angles. The reflected rays cross at many shifting points, instead of at one focal point.

Resulting image



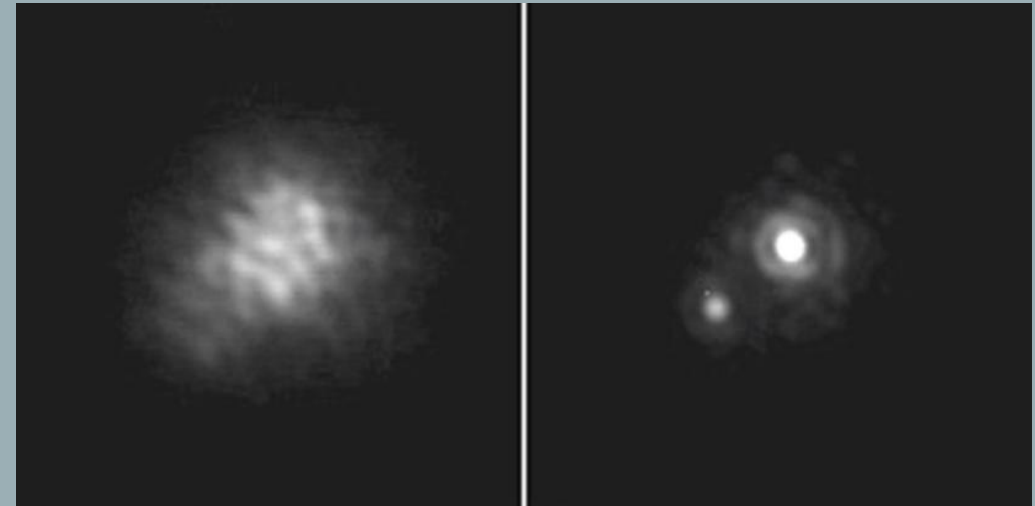
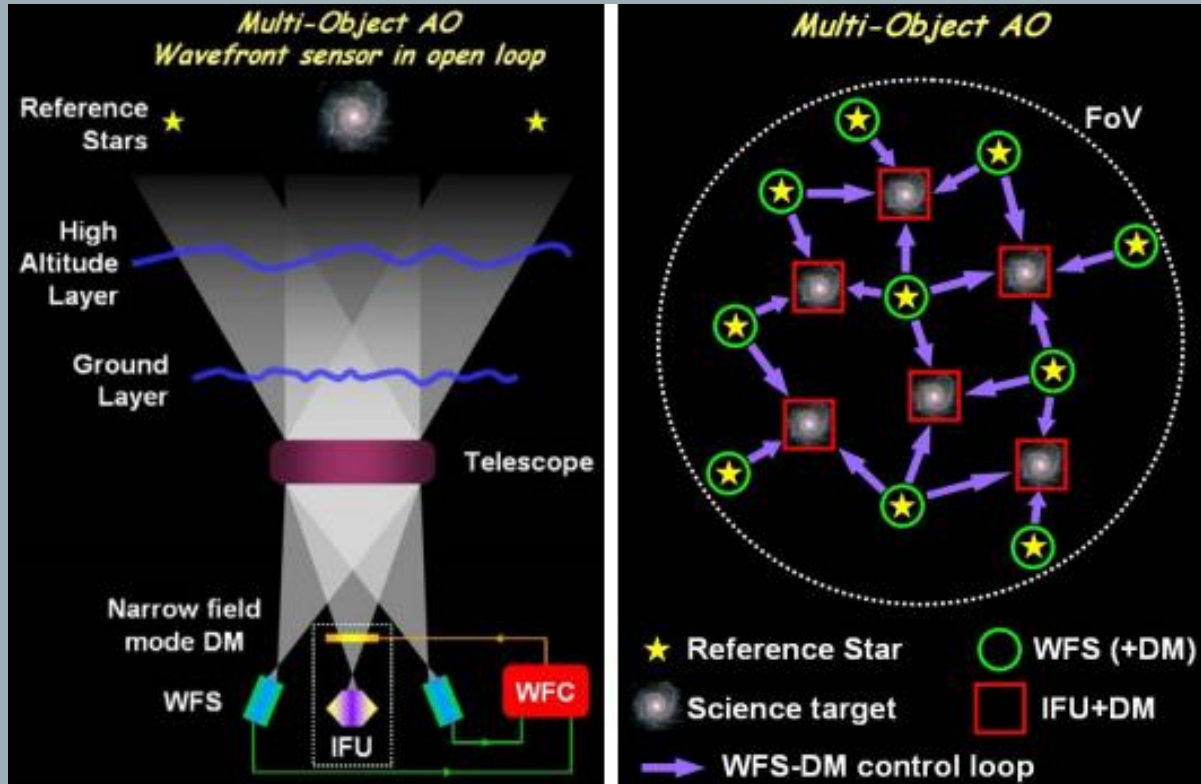
3 The result is a blurry, shifting image of the star.

Активная та адаптивная оптика



- ❑ <https://openedu.ru/course/msu/BASTRO/>
- ❑ https://www.ucolick.org/~max/History_AO_Max.htm

Активна та адаптивна оптика



Кілька слів про монтування



Основи астрофотографії об'єктів глибокого космосу (deep sky object)



Галактики



Кульові зоряні
скупчення



Розсіяні зоряні
скупчення



Скупчення
галактик



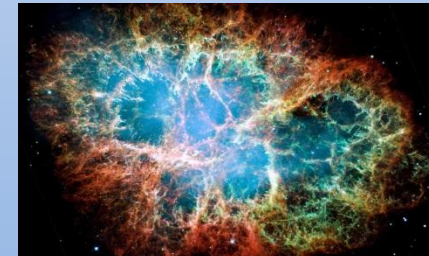
Туманність
«Гантель»



Туманність
«полум'я»



Дифузні
туманності



Крабовидна
туманність

Що таке астрофотографія, та які підрозділи в себе включає?

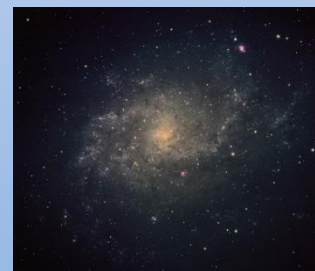
- **Астрофотографія** — це спеціалізована галузь фотографії, яка пов'язана із фотографуванням небесних тіл та великих ділянок видимого Всесвіту.
 - Астропейзажна фотографія;
 - Астрофотографія об'єктів Сонячної системи;
 - Астрофотографія *Deep sky object*;
- - орбітальна (орбітальні телескопи та обсерваторії);
- - наземна (обсерваторії та приватні телескопи);



Пейзаж



Сонце



M33



M27

Техніка для астрофотографії Deep sky object

- Фотографування Deep sky object можливе декількома способами:
 - Телескоп з гідруванням + астрокамера (астрономічні обсерваторії);
 - Телескоп з гідруванням + фотокамера (дзеркальна чи без дзеркальна);
 - Фотокамера + астротрекер;
 - Фотокамера на штативі (низький рівень фотографії).

Манімальний та достатній набір техніки для отримання простої астрофотографії

- - Цифрова фотокамера з можливістю налаштування усіх параметрів в ручному режимі (M);
 - - Світлосильний об'єктив (f/1.2..f/2.8);
 - Штатив (міцний);
 - спусковий пульт, або інтервалометр.
 - Комп'ютер (настільний або ноутбук).
-
- Центральна частина сузір'я Оріон.
Туманність «Вогонь», туманність «Кінська голова», «Велика туманність Оріону».
250 кадрів по 2 сек.
(30 дарків та 25 флетів)
ISO 1250
f/3.5, фокусна відстань 170 мм
фотокамера, штатив, інтервалометр.

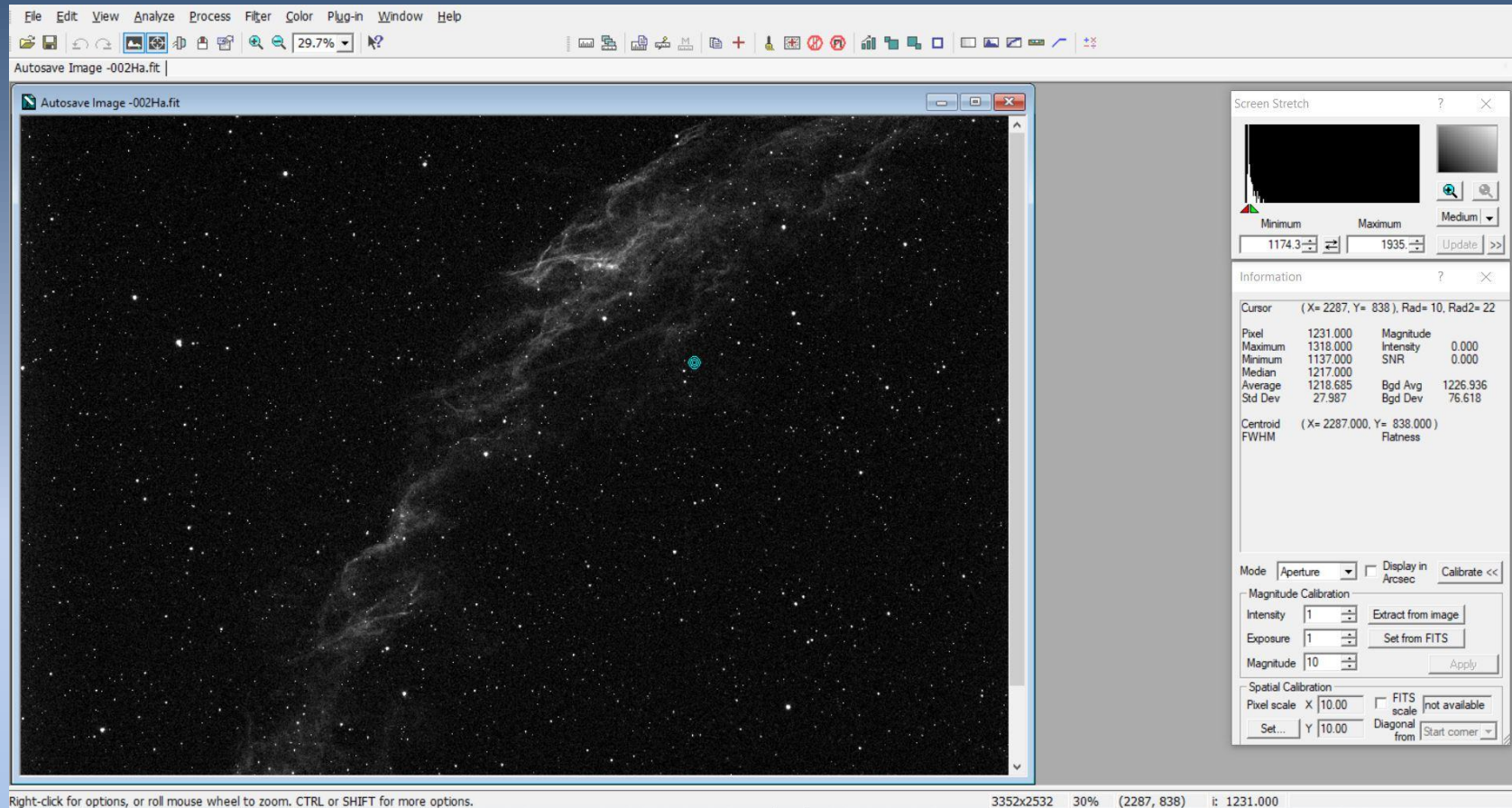


Отримання високого рівня фотографій об'єктів глибокого космосу.

- Телескоп з гідунням, астрокамера (можлива й професійна астрофотокамера), комп'ютер/ноутбук з програмним забезпеченням.
- Програмне забезпечення:
 - - Для серфінгу небесної сфери - Stellarium, Cartes du Ciel (Sky chart), StarWalk2;
 - - Для позиціонування телескопу Cartes du Ciel;
 - - Для зйомки Maxim DL;
 - - Для стекінгу DSS та Maxim DL;
 - - Для допрацювання зібраного зображення Maxim DL, FITStaker, Adobe Photoshop.

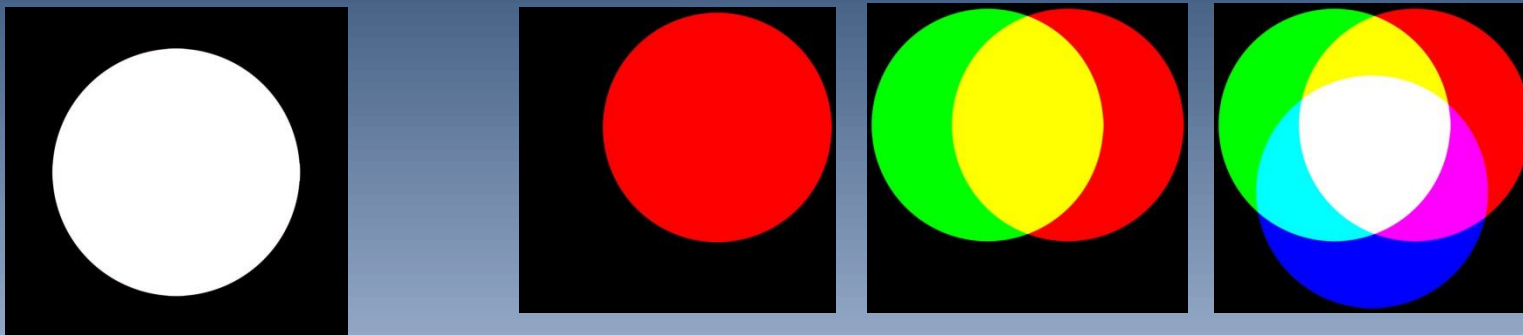


Процес фотографування



- - фокусування;
- - калібрування та запуск гідрування;
- - запуск програми фотозйомки (серія лайтів у вибраних фільтрах).

Специфіка астрокамери



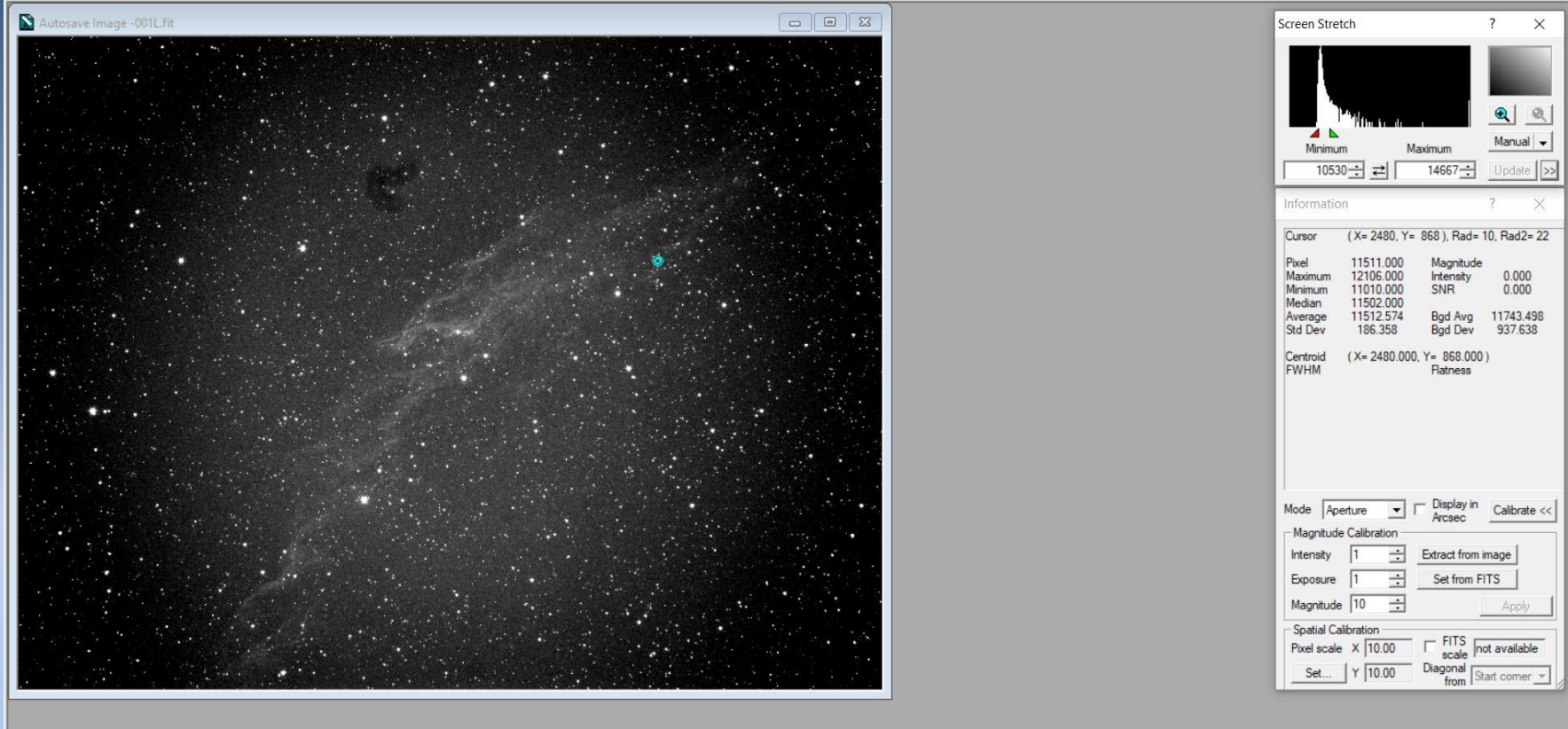
Монохромна астрокамера, як отримати кольорове зображення?

Фотозйомка проводиться через різні світлофільтри, що «вирізають» необхідний спектр світла, а поканальний стекінг (складання) зображення дозволяє отримати кольорове зображення.

MaxIm DL Pro 5 - Autosave Image -001L.fit

File Edit View Analyze Process Filter Color Plug-in Window Help

Autosave Image -001L.fit |



The main window displays a star field image. A cursor is positioned at (X=2480, Y=868) with a radius of 10 and a radius squared of 22. The 'Screen Stretch' panel shows a histogram and a preview of the stretched image, with minimum and maximum values of 10530 and 14667 respectively. The 'Information' panel provides detailed statistics for the selected region.

Pixel	11511.000	Magnitude	
Maximum	12106.000	Intensity	0.000
Minimum	11010.000	SNR	0.000
Median	11502.000		
Average	11512.574	Bgd Avg	11743.498
Std Dev	186.358	Bgd Dev	937.638
Centroid	(X= 2480.000, Y= 868.000)		
FWHM		Flatness	

Mode: Aperture Display in Arcsec Calibrate <<

Magnitude Calibration

Intensity: 1 Extract from image

Exposure: 1 Set from FITS

Magnitude: 10 Apply

Spatial Calibration

Pixel scale X: 10.00 FITS scale: not available

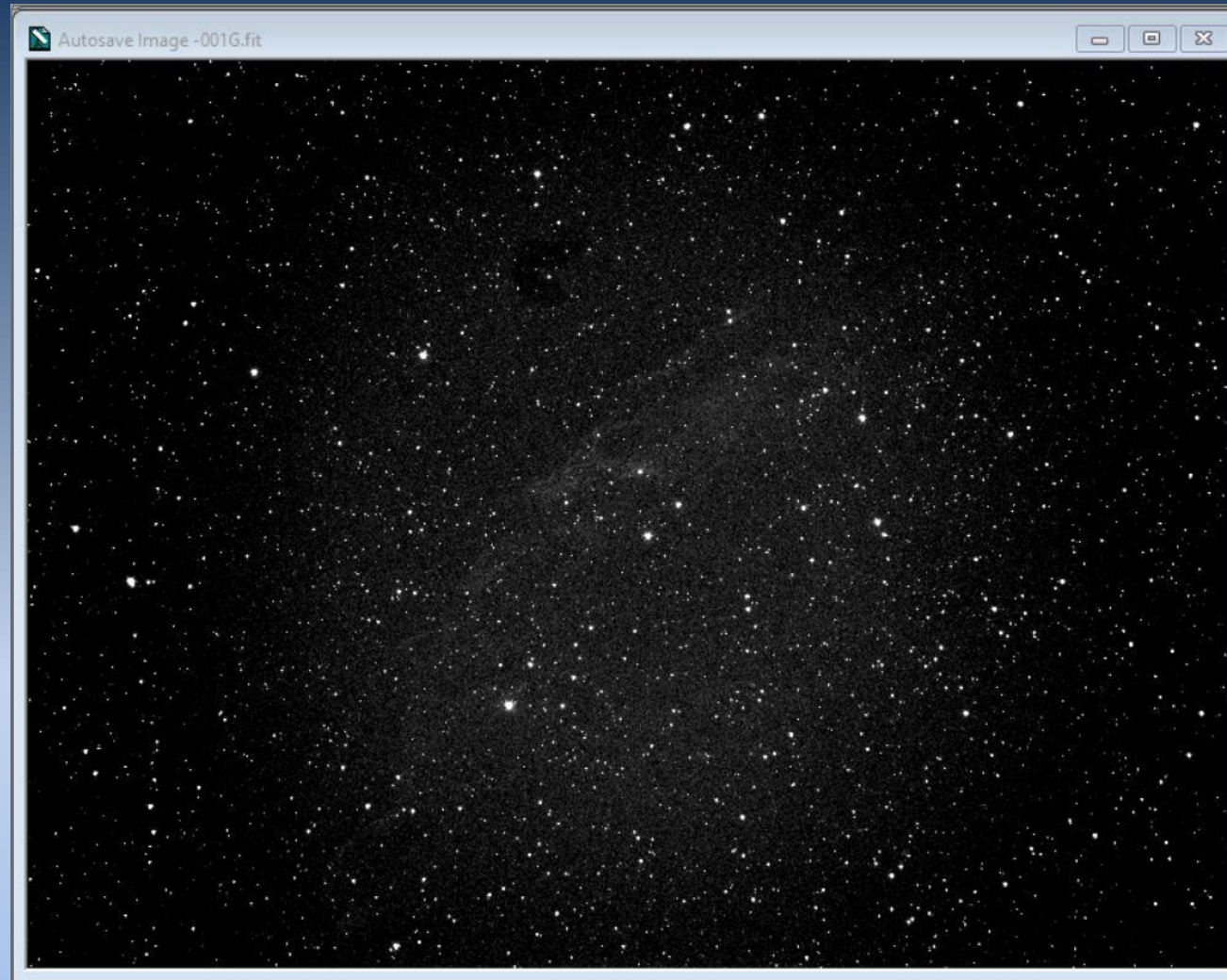
Set... Y: 10.00 Diagonal from: Start corner

Right-click for options, or roll mouse wheel to zoom. CTRL or SHIFT for more options. 3352x2532 25% (2480, 868) i: 11511.000

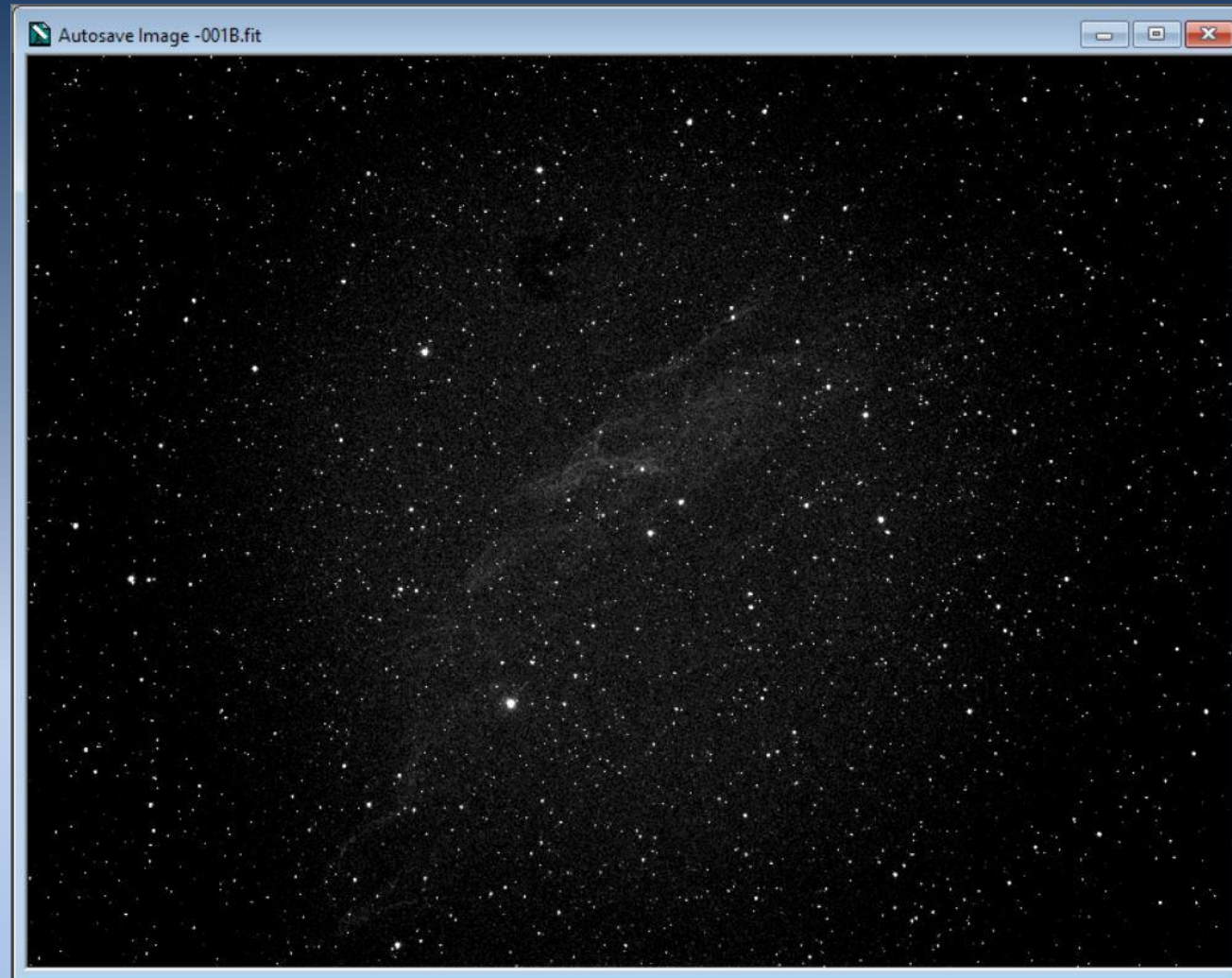
Зображення отримане в фільтрі Luminance, канал яскравості та деталізації.



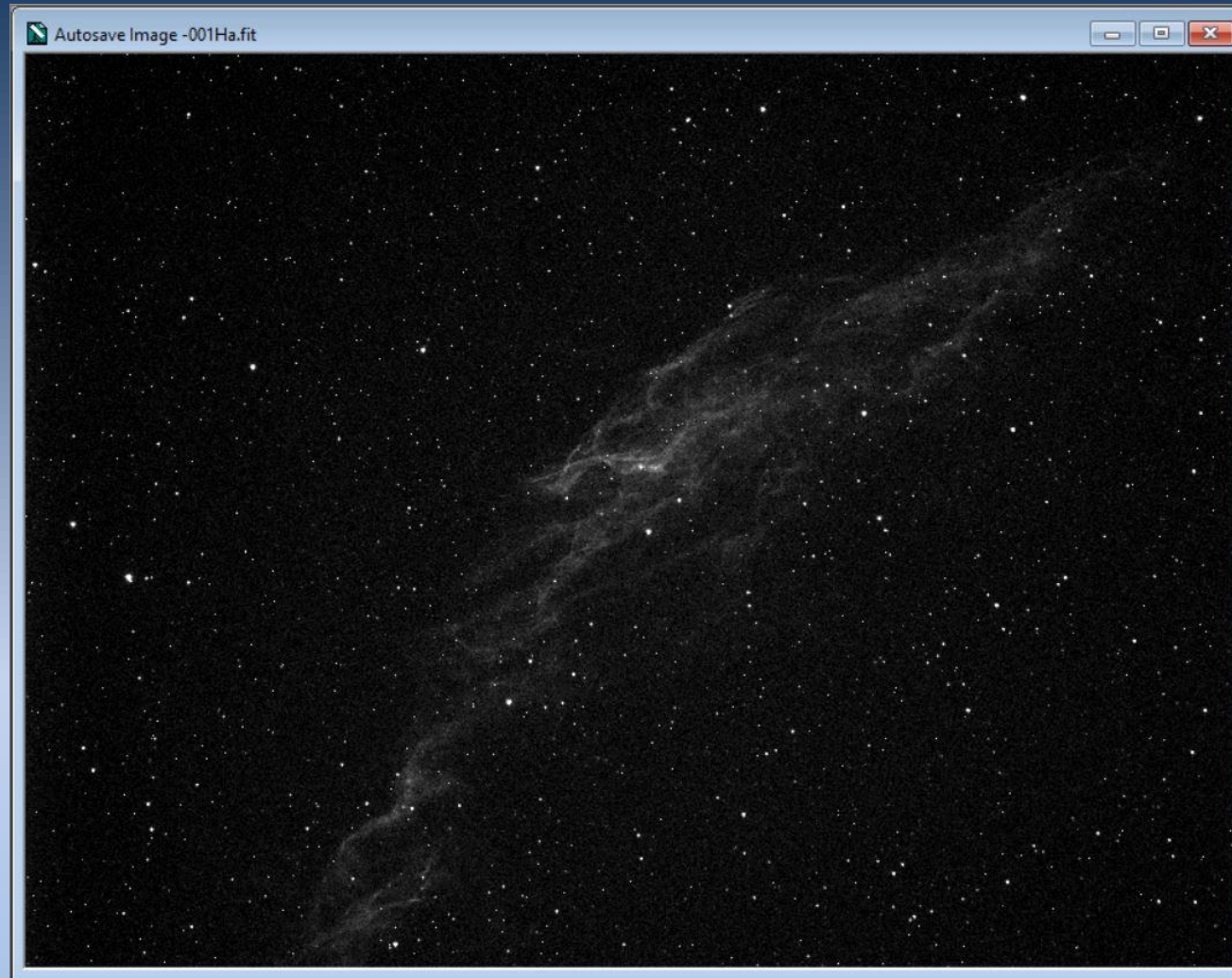
Red – канал червоного спектру.



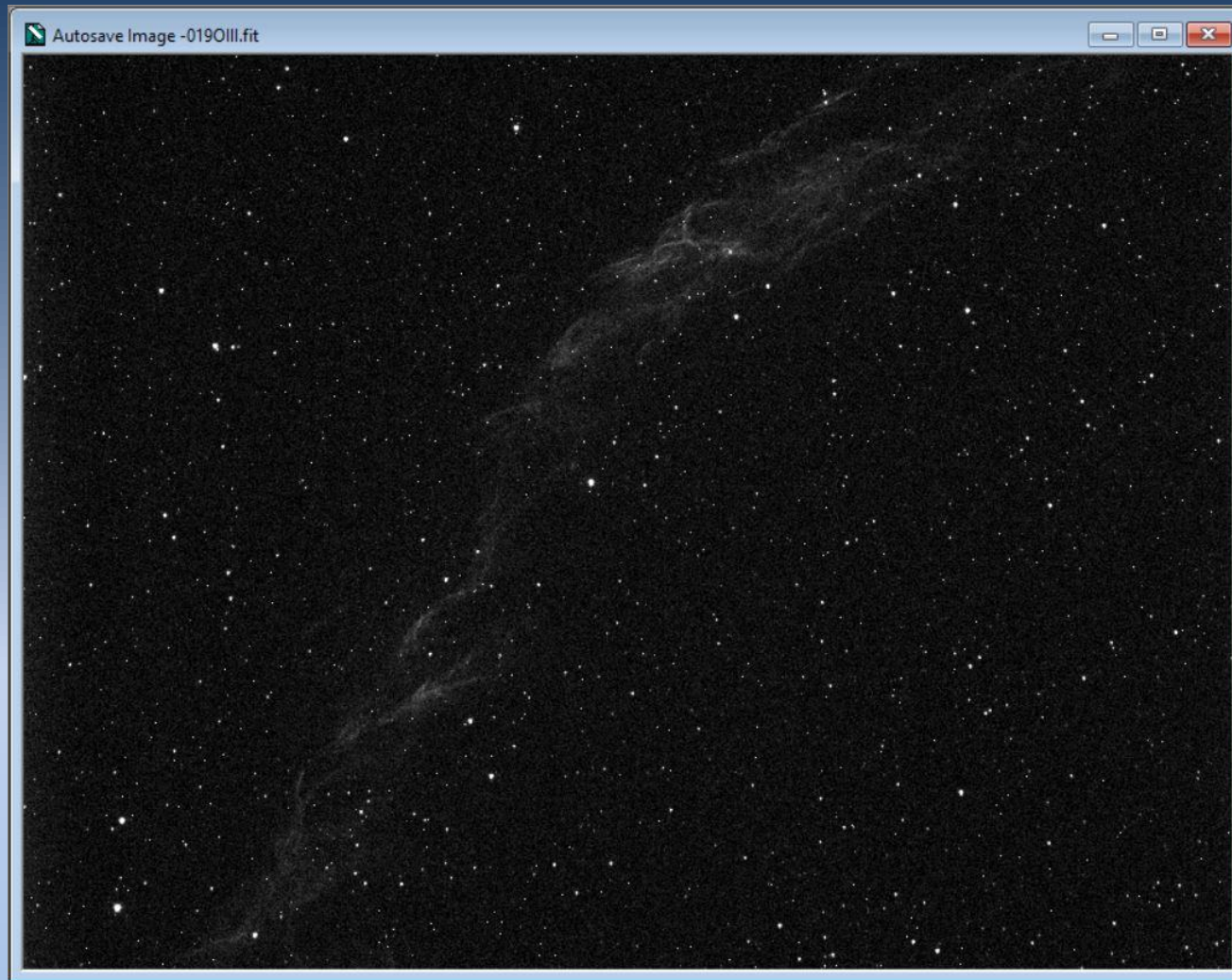
Green – канал зеленого спектру.



Blue – канал синього спектру.



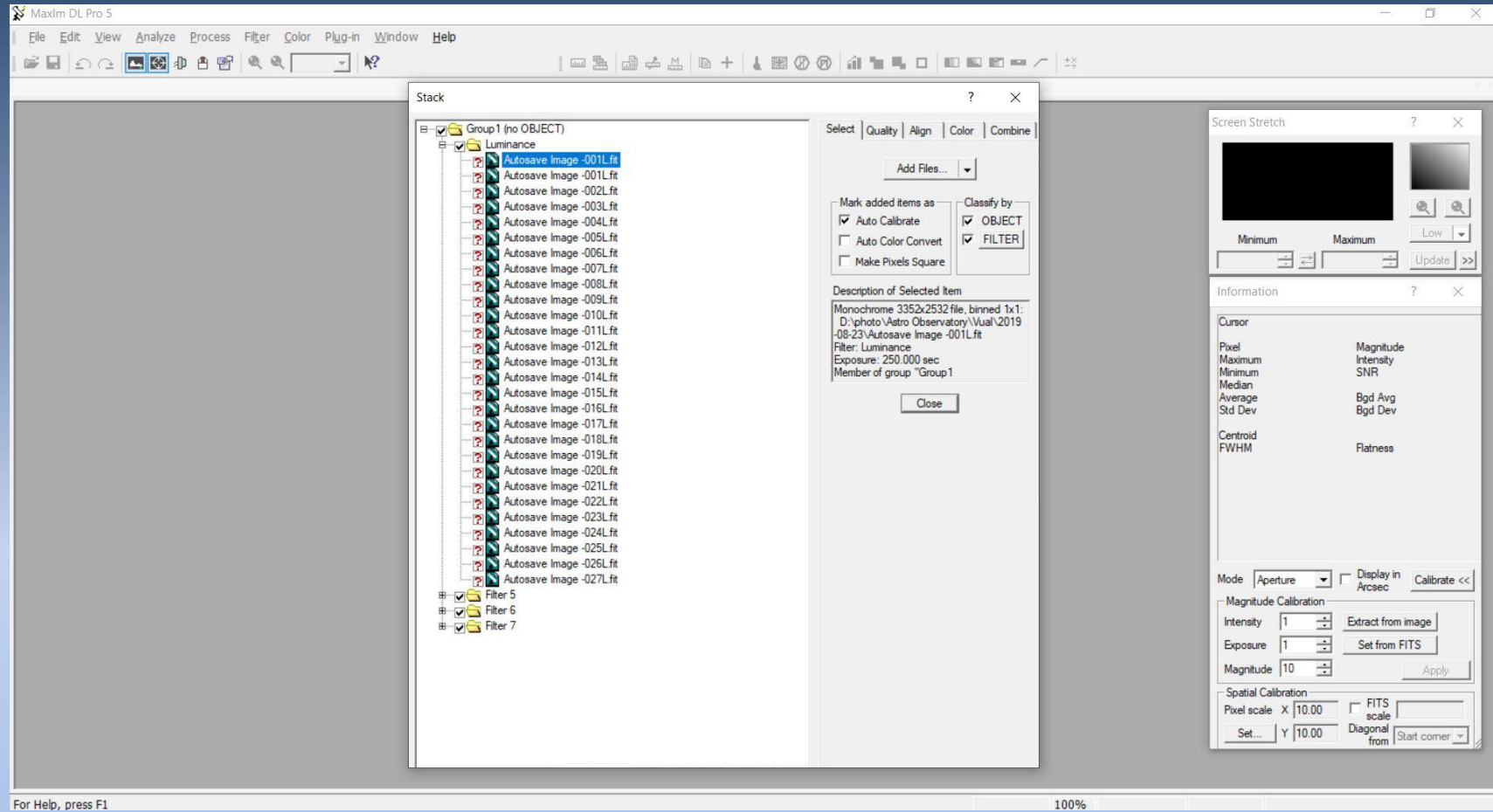
Ha – канал випромінювання іонізованого водню.



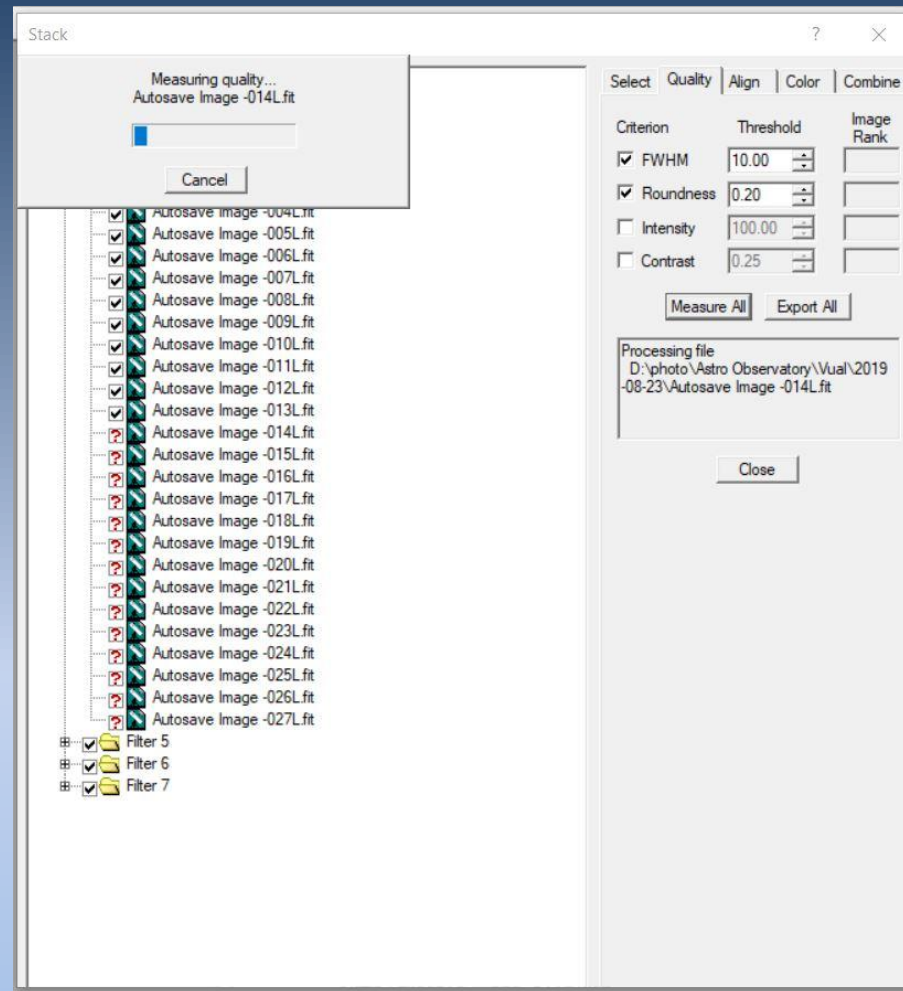
OIII – канал випромінювання нейтрального кисню.



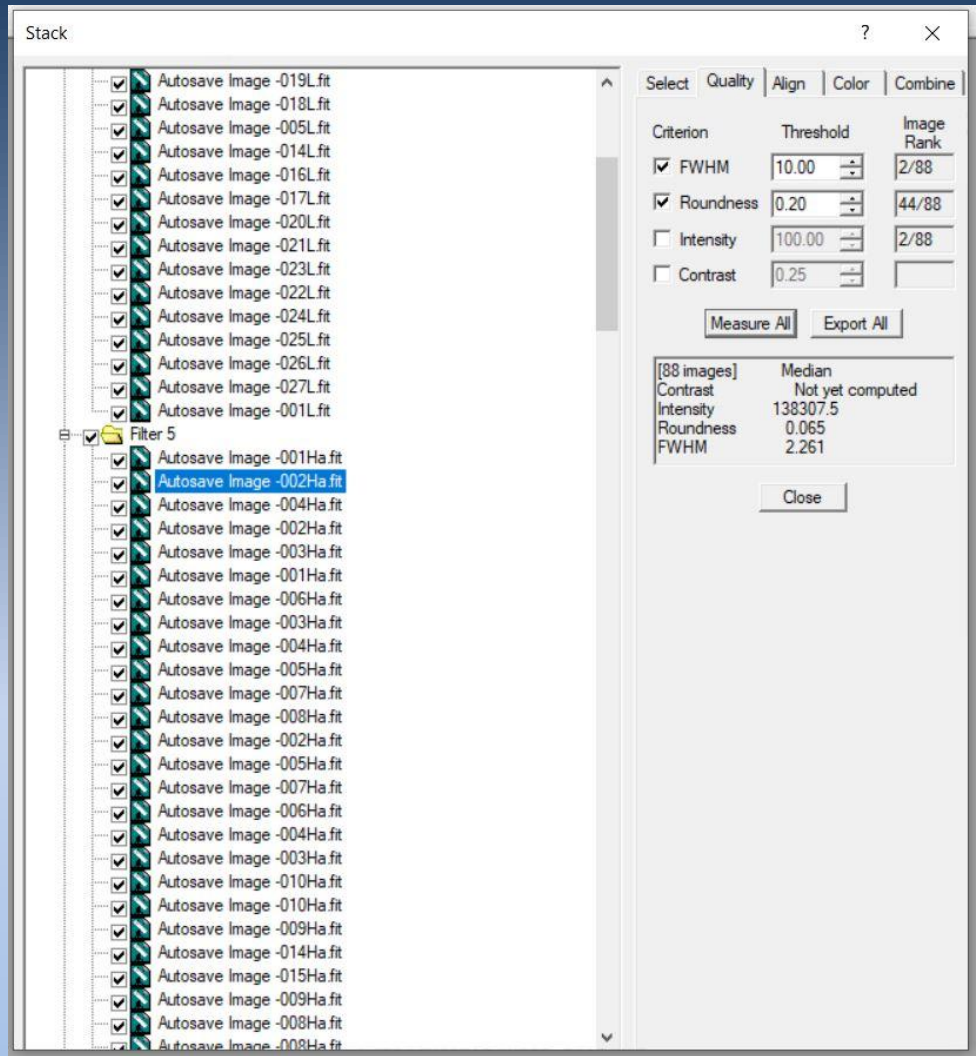
S2 – канал випромінювання сірки.

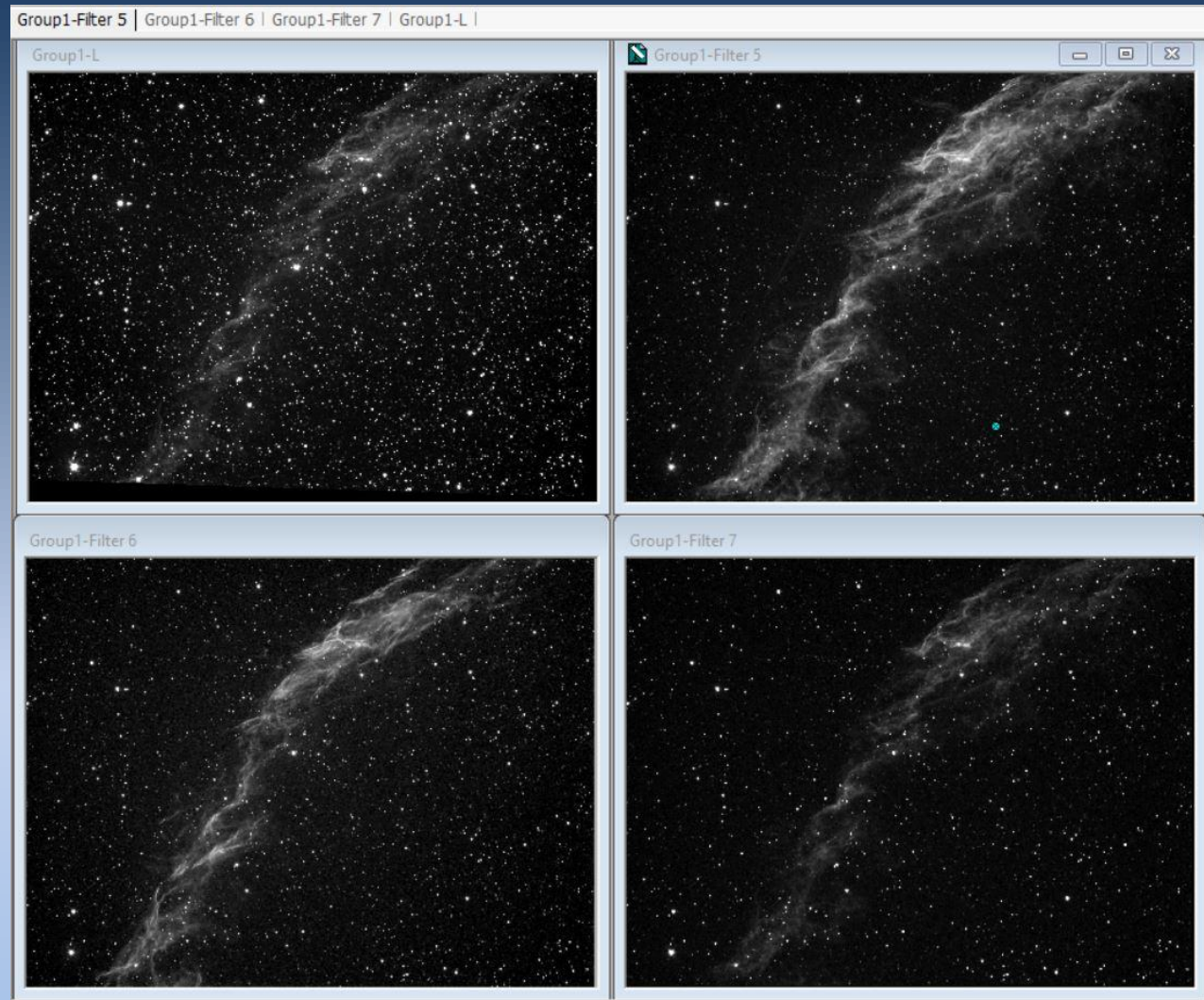


Завантаження усієї серії фотографій для стекінгу (складання) із застосуванням калібрувальних кадрів.

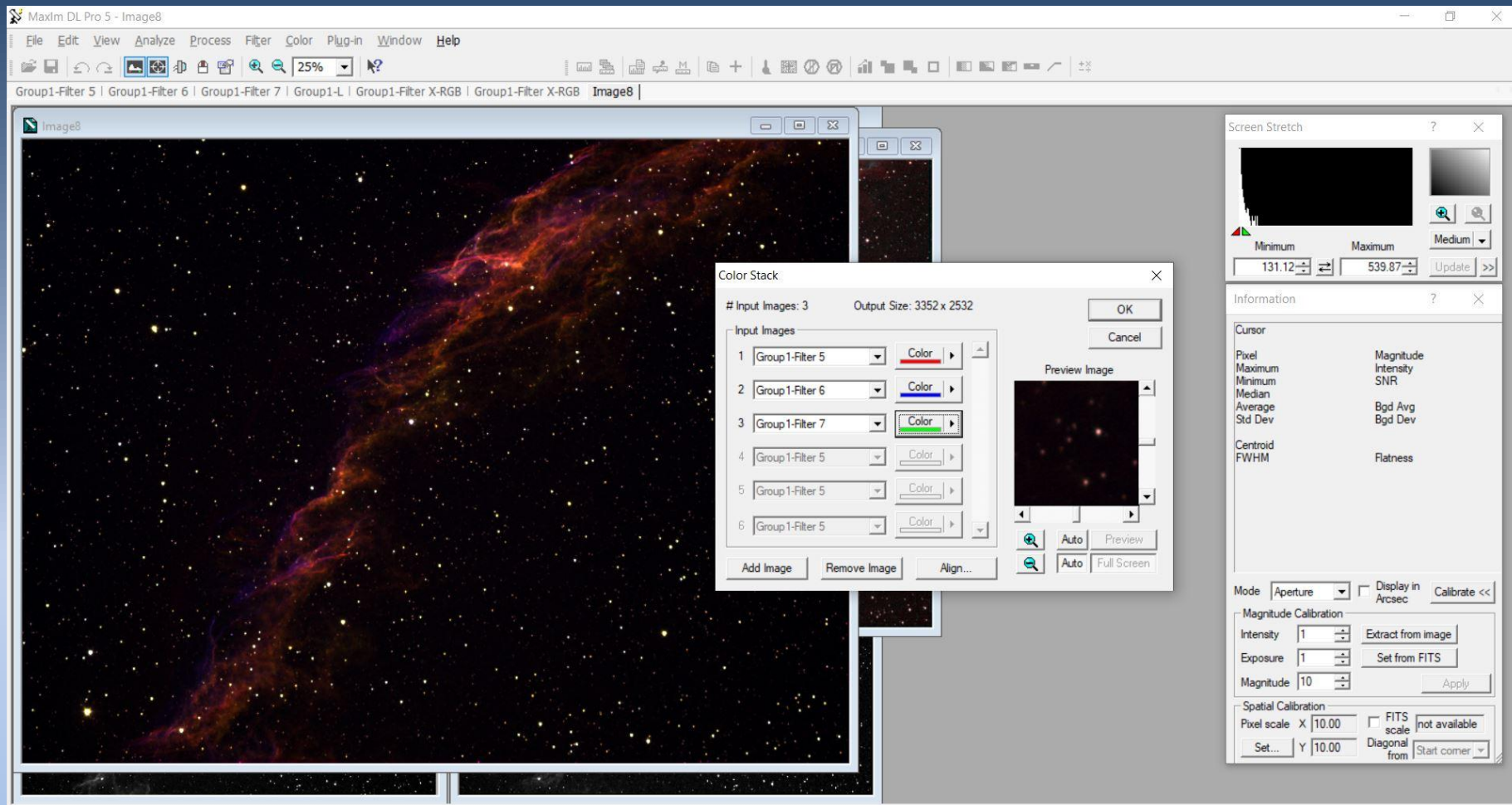


Застосування фільтрування по параметру FWHM (кадри з максимальною чіткістю зображення)

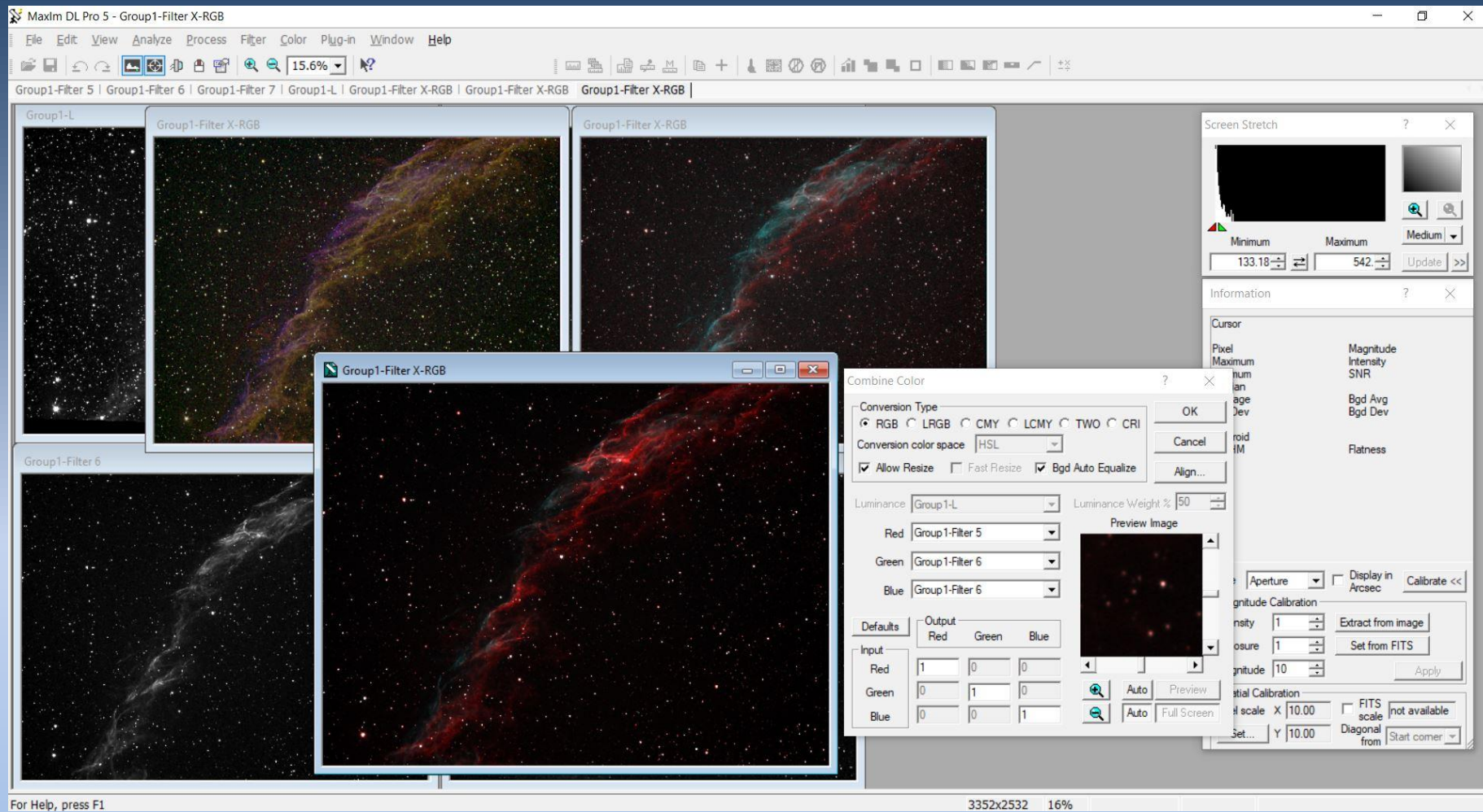




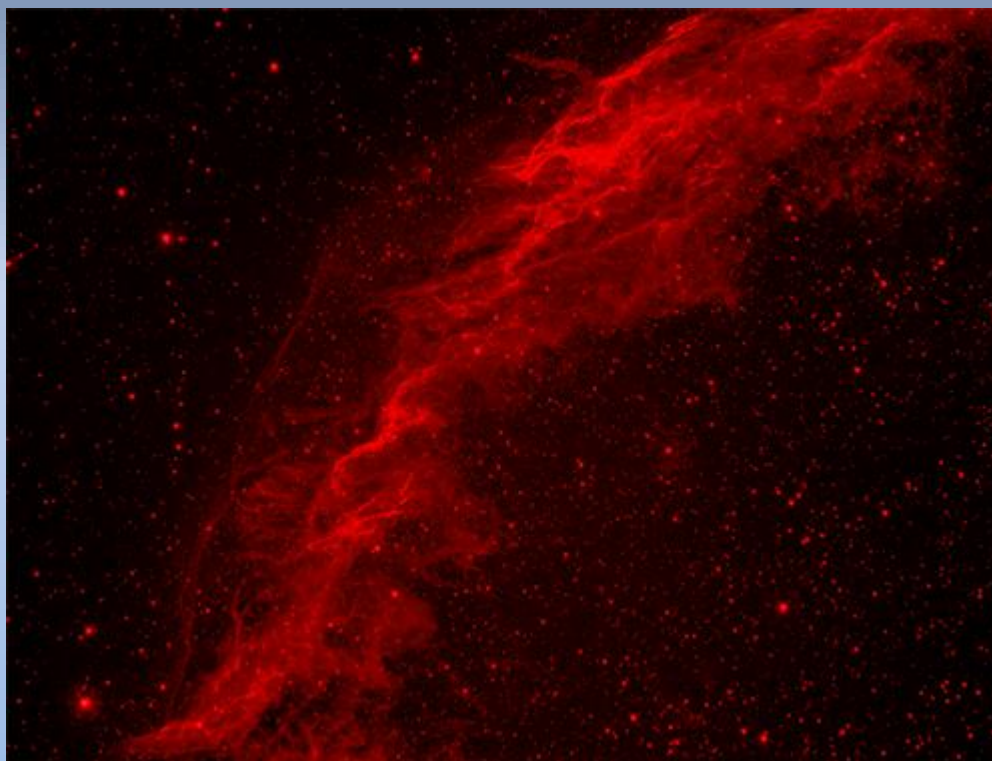
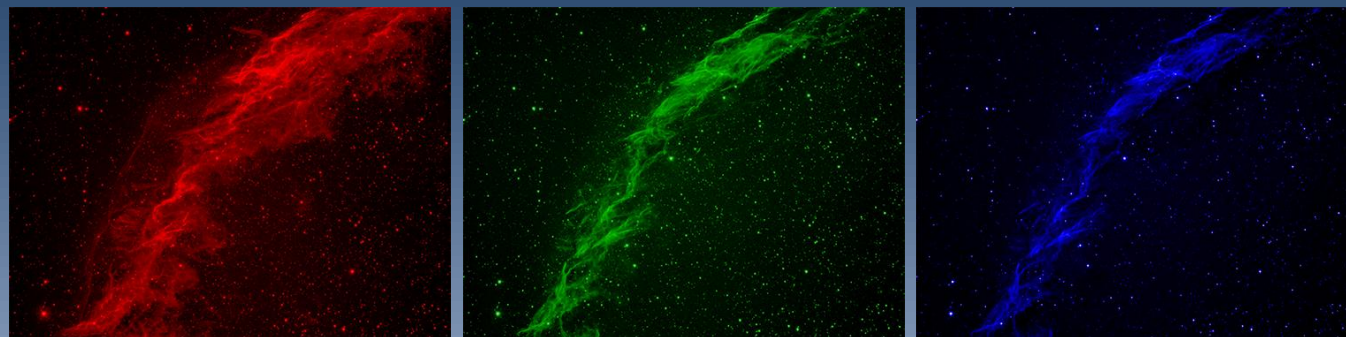
Кадри складені поканально



Складання каналів в один кадр.
Отримання синтетичного кольору знятого об'єкту.



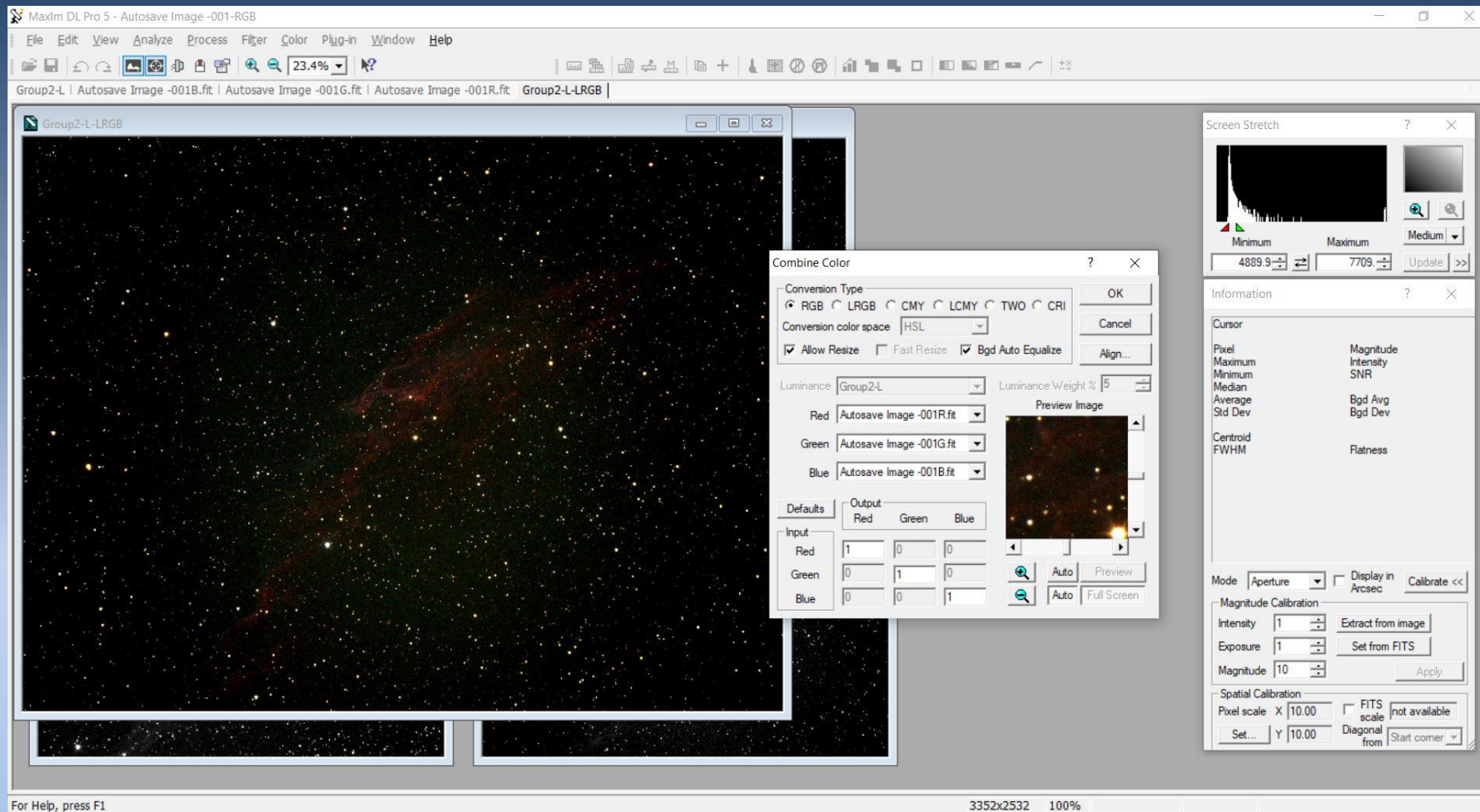
Різні варіанти складання каналів.



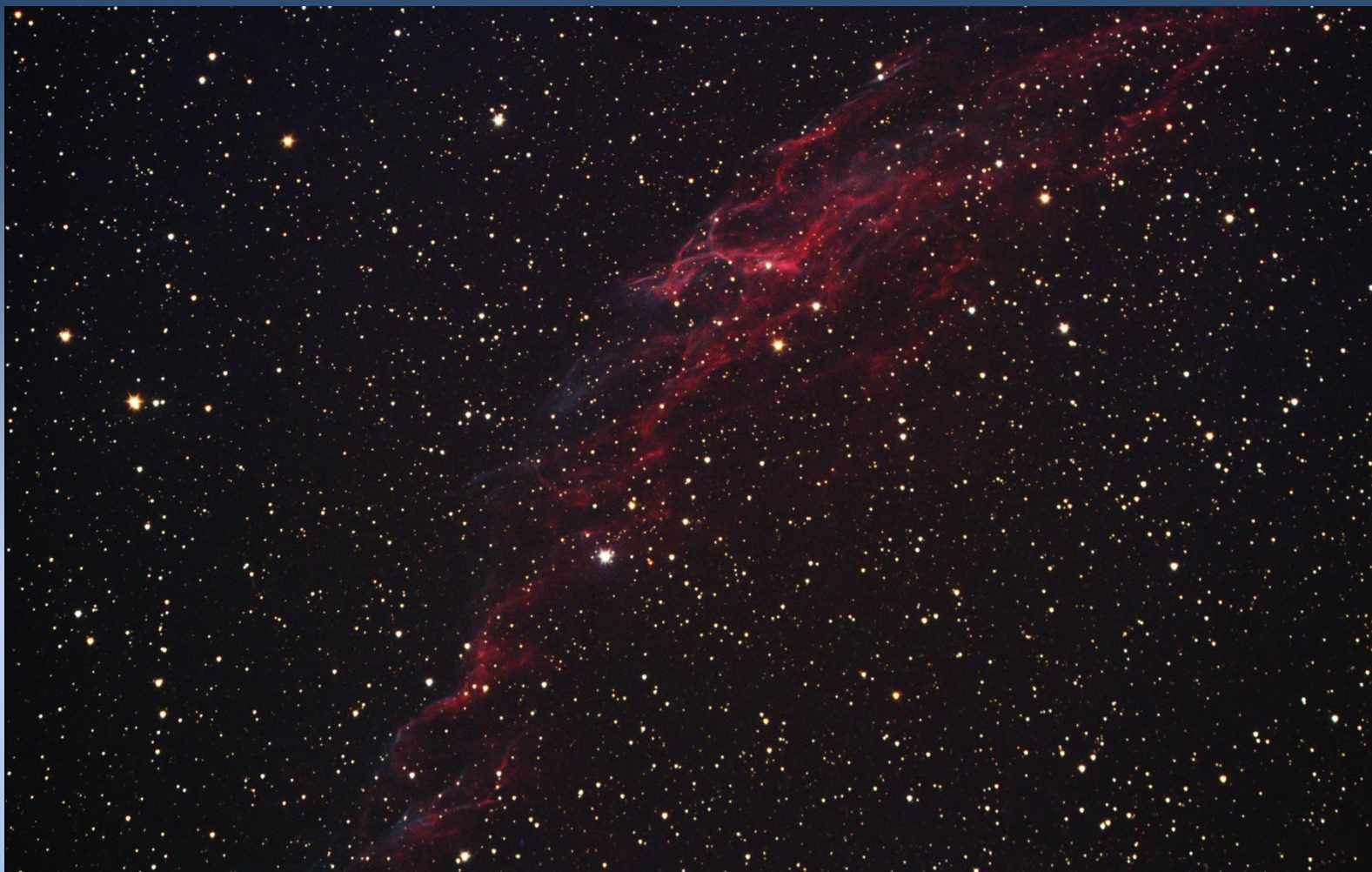
Утворення кольорового зображення в кольоровому просторі RGB



Після конвертації та додаткового допрацювання в графічному редакторі зображення, зібраного із знімків зроблених через фільтр H α та OIII. (Синтетичний колір, що дозволяє візуально розділити об'єми водню та кисню).



Складання каналів R, G, B.
Отримання реального кольорового зображення.

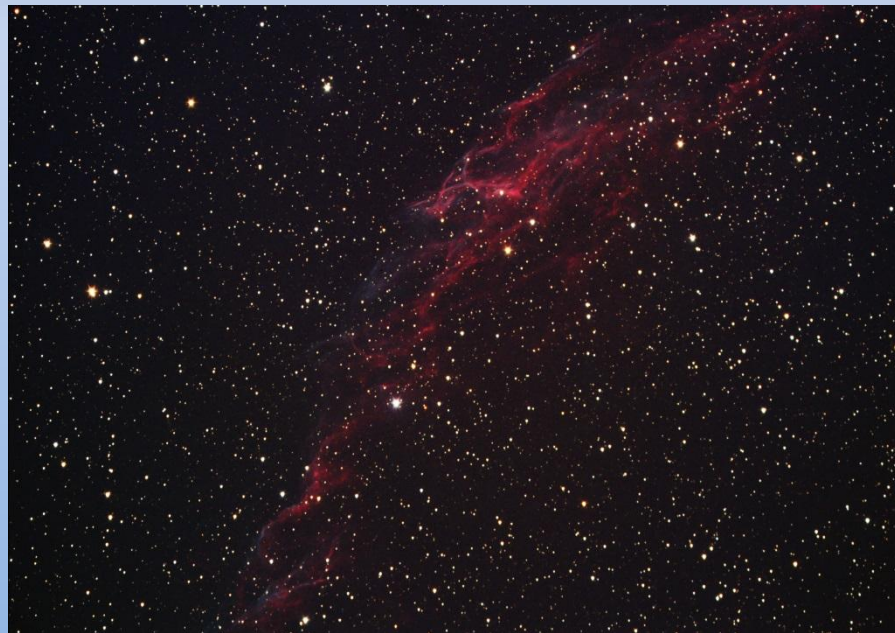


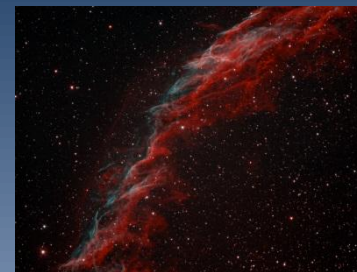
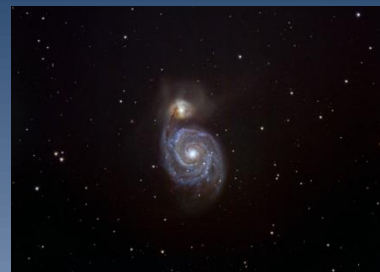
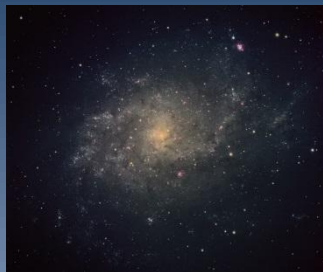
Додаткове допрацювання в графічному редакторі 16-бітного зібраного зображення із каналів L, R, G, B.

Ha, OIII



L, R, G, B





LSAO відкрита для відвідування, навчання та спільних досліджень Всесвіту.

