Observasjon av universet ved ulike bølgelengder –

fra radiobølger til gammastråling.

Terje Bjerkgård
og
Erlend Rønnekleiv

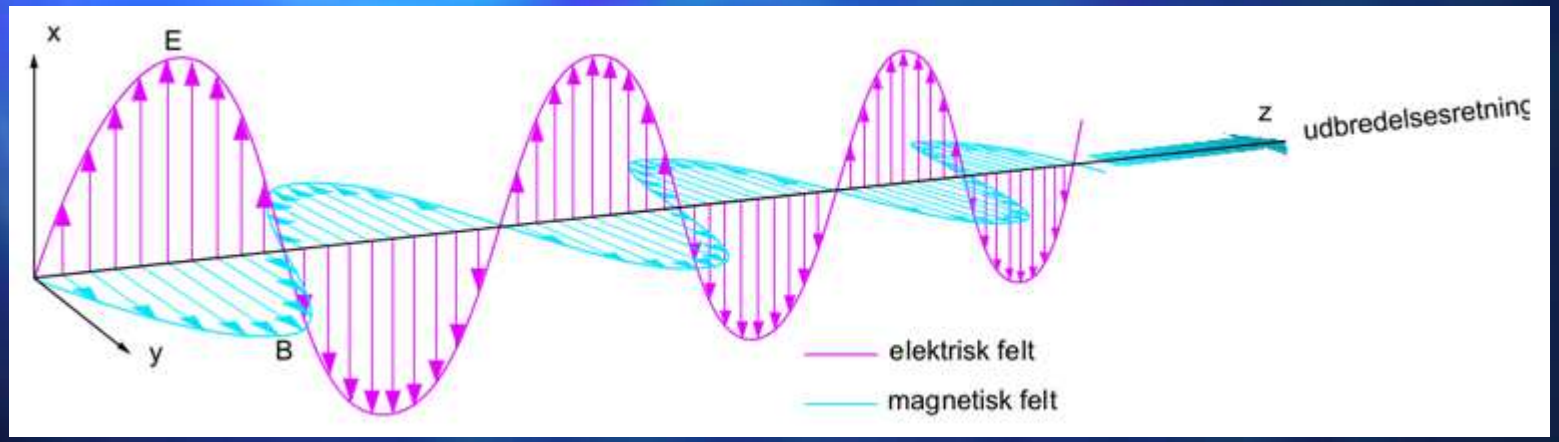
Innhold

- Elektromagnetisk stråling
- Det elektromagnetiske spektrum
- Gammastråling
- Røntgenstråling
- Ultrafiolett stråling
- Infrarød stråling
- Radiostråling

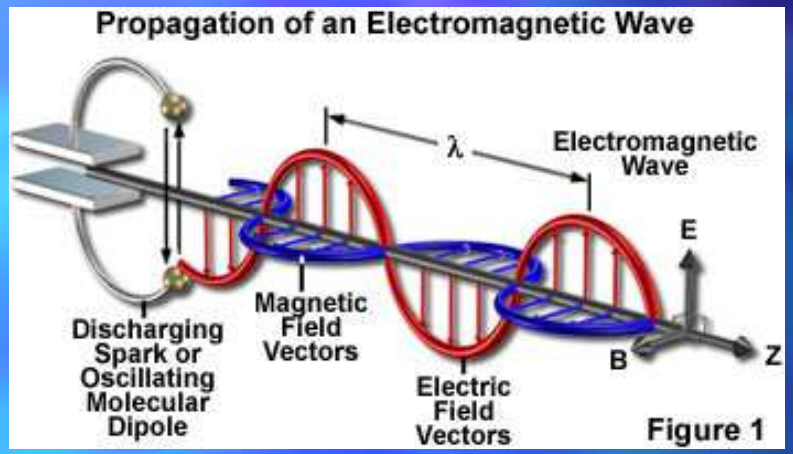
Elektromagnetisk stråling

Elektromagnetisk stråling består av periodiske variasjoner i elektriske og magnetiske felter som beveger seg gjennom rommet med lysets hastighet.

Elektromagnetisk stråling består av en bølgebevegelse vinkelrett på bevegelsesretningen. Avstanden mellom to bølgetopper definerer strålingens bølgelengde (λ).
Den kan variere fra mindre enn 10^{-14} m for den mest kortbølgede gammastrålingen til flere kilometer for de mest langbølgede radiobølger.



Elektromagnetisk stråling



Strålingens frekvens (f) er lik antall bølgetopper som passerer et punkt i løpet av et sekund.

Bølgelengden, frekvensen og lysets hastighet i vakuum (c) henger sammen på følgende måte : $c = \lambda * f$.

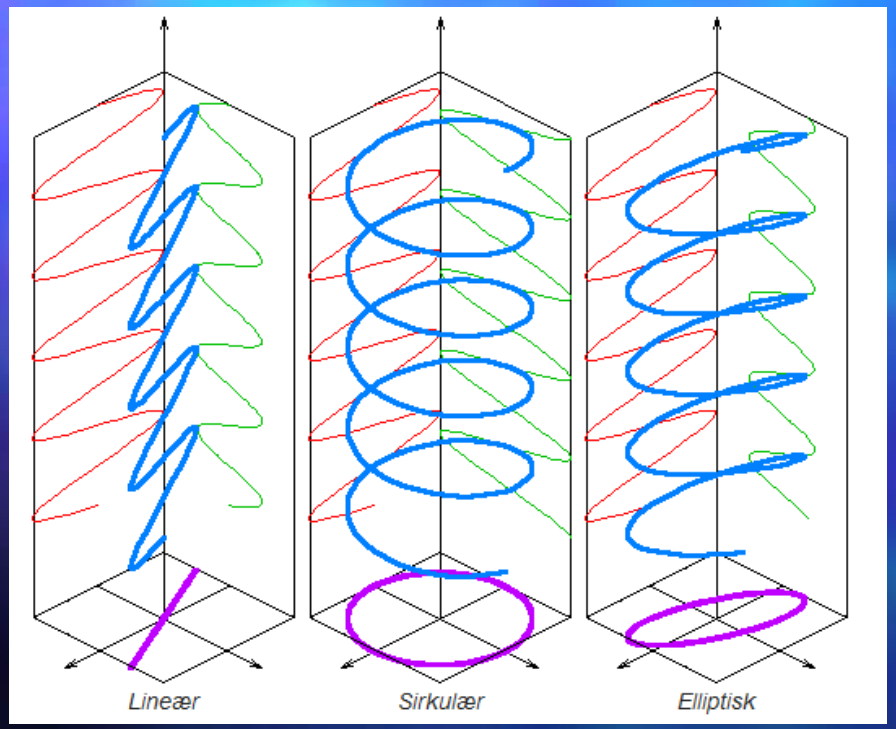
Strålingens energi(E) pr. foton regnes ut ved formelen $E = h * f = h * c/\lambda$; hvor h = Plancks konstant = 6.626176×10^{-34} Js (= joule sekund).

Av dette følger at jo kortere bølgelengden er, desto høyere energi er det i strålingen. Et foton blått lys med bølgelengde 440 nanometer har f.eks. ca. 36% mer energi enn et foton rødt lys med bølgelengde 600nm siden 600/440 = 1.36

Elektromagnetisk stråling

Polarisasjon

Polarisert lys, lys hvor svingningene, går langs en bestemt retning eller i to på hverandre vinkelrette retninger slik at det alltid er en bestemt faseforskjell mellom svingningene i de to retningene.

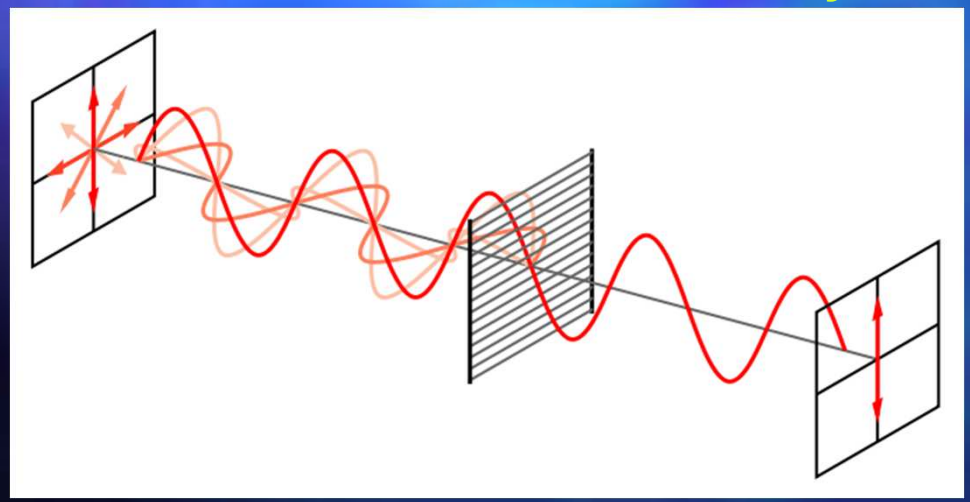


Er faseforskjellen 0°, kan man ved dreining av akseretningene oppnå at den ene svingnings-komponenten forsvinner. Lyset er da lineært polarisert. Er faseforskjellen 90° og svingningene like store i de to retningene, kalles lyset sirkulært polarisert

Elektromagnetisk stråling

Polarisasjon

Polarisasjonsfilter



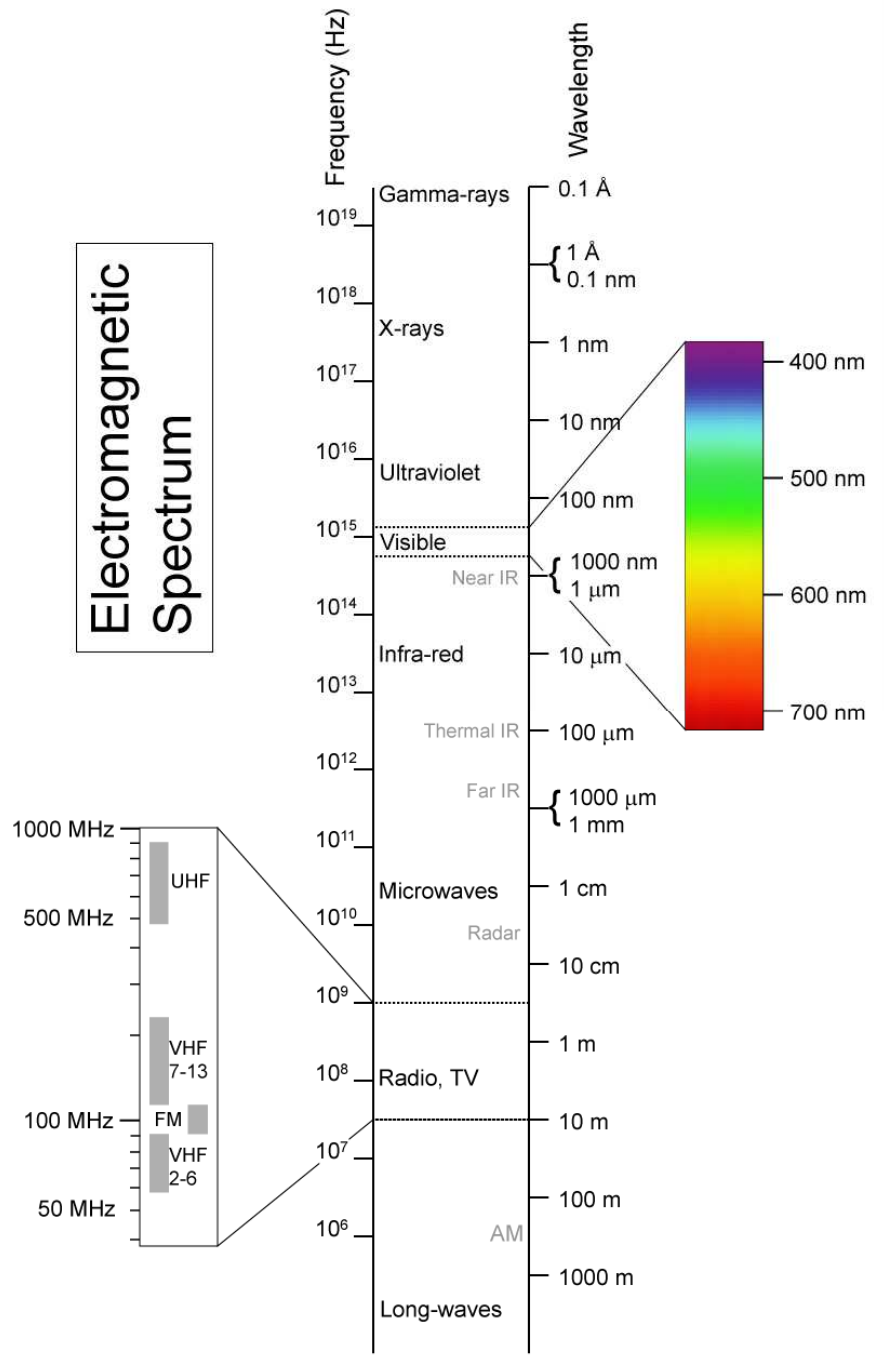
Det elektromagnetiske spektrum

Det elektromagnetiske spektrum viser frekvenser/bølgelengder til all stråling.

Bølgelengden λ = c/frekvensen f, der c = lyshastigheten 300000 km/s

Fotonenergien $E = h*f = h*c/\lambda$ der h = Plancks konstant

Høy-frekvente bølger har kort bølgelengde og stor energi, mens lav-frekvente bølger har lang bølgelengde og liten energi.



Elektromagnetisk spektrum

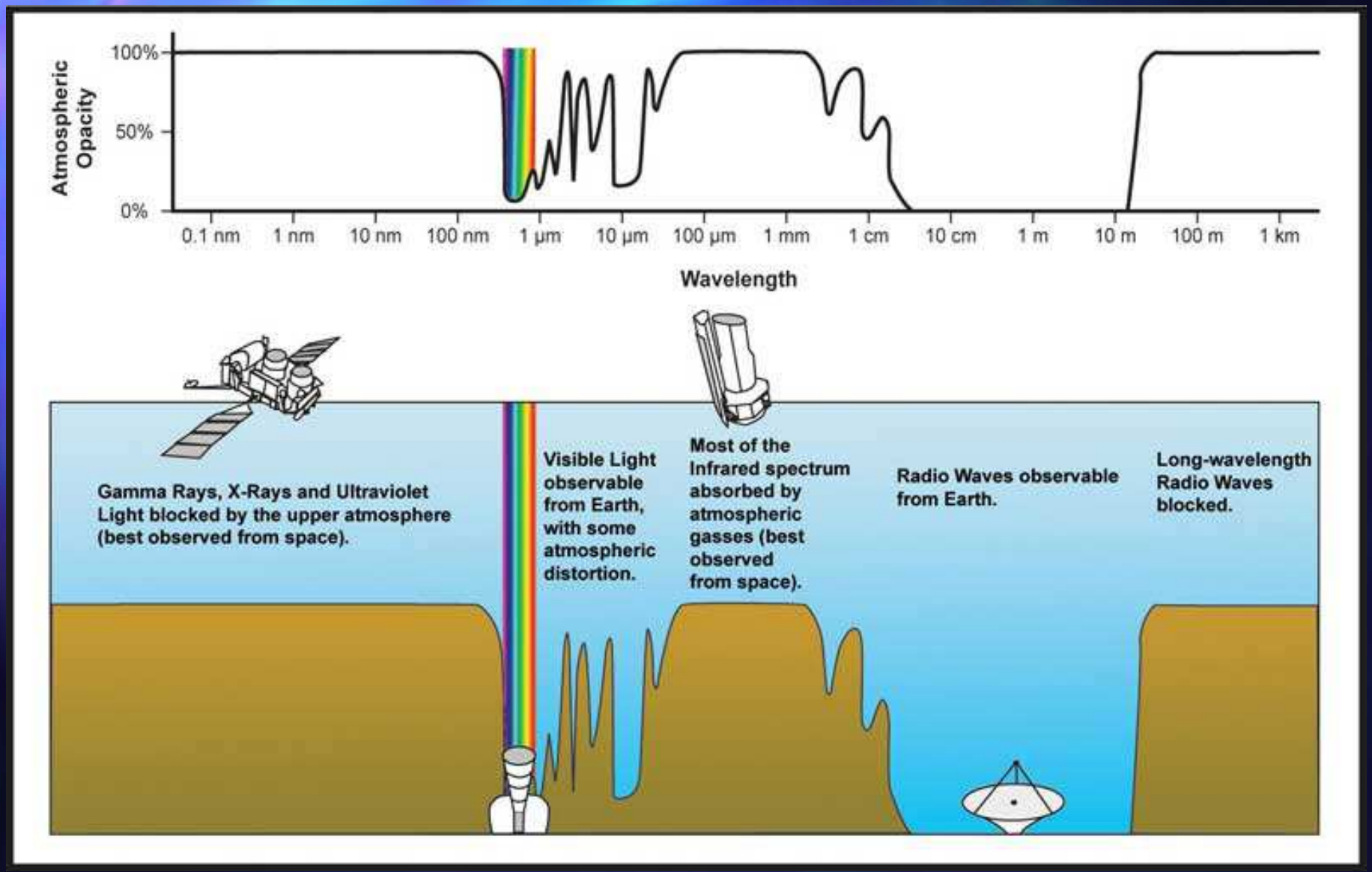
Område	Bølgelengdeområde	Typisk temperatur på objekt
Gammastråling	Kortere enn 0.01 nm	Høyere enn ca. 100 000 000 K
Røntgenstråling	0.01 – 10 nm	ca. 200 000 – 100 000 000 K
Ultrafiolett stråling	10 – 380 nm	ca. 10 000 – 200 000 K
Lys	380-700 nm	ca. 3 500 – 10 000 K
Infrarød stråling	700 nm – 1 mm	ca. 3 K – 3 500 K
Radiobølger	Lengre enn 1 mm	Lavere enn ca. 3 K

Synlig lys

Farge	Omtrentlig bølgelengde	Kommentar
Dyp fiolett	380nm	Grense mellom fiolett og ultrafiolett
Fiolett	410nm	
Indigo	440nm	
Blått	470nm	
Grønt	500nm	
Gult	570nm	
Orange-rødt	600nm	
Rødt	650nm	
Dyp rødt	700nm	Grensen mellom rødt og infrarødt

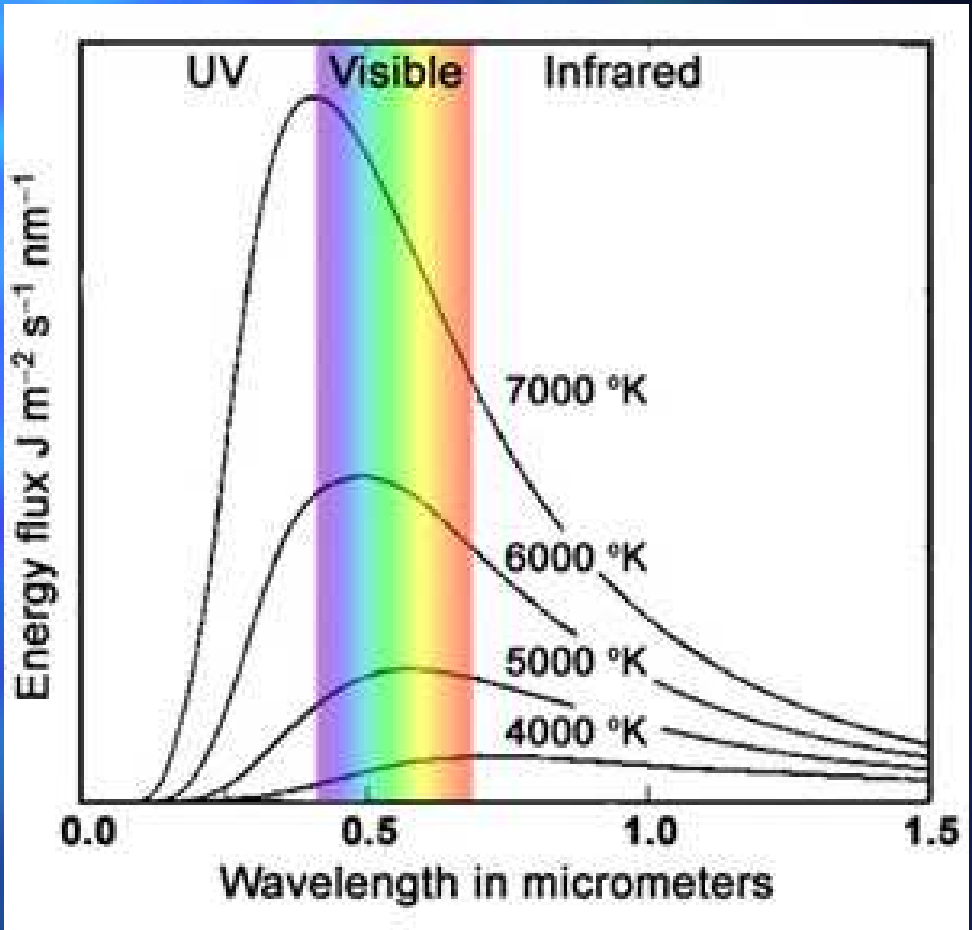
Elektromagnetisk spektrum

Absorpsjon i atmosfæren



Strålingskurver

Et legeme sender ut lys i forskjellig bølgelengde avhengig av legemets temperatur.
Strålingen blir mer langbølget (mer rød) med lavere temperatur.



Observasjoner av gammastråling

Gammastråling er den mest energirike elektromagnetiske strålingen med bølgelengde mindre enn 10^{-12} meter = 0.001 nanometer.

En utfordring med gammaastronomi er at det finnes svært få gammafotoner sammenlignet med fotoner fra synlig lys.

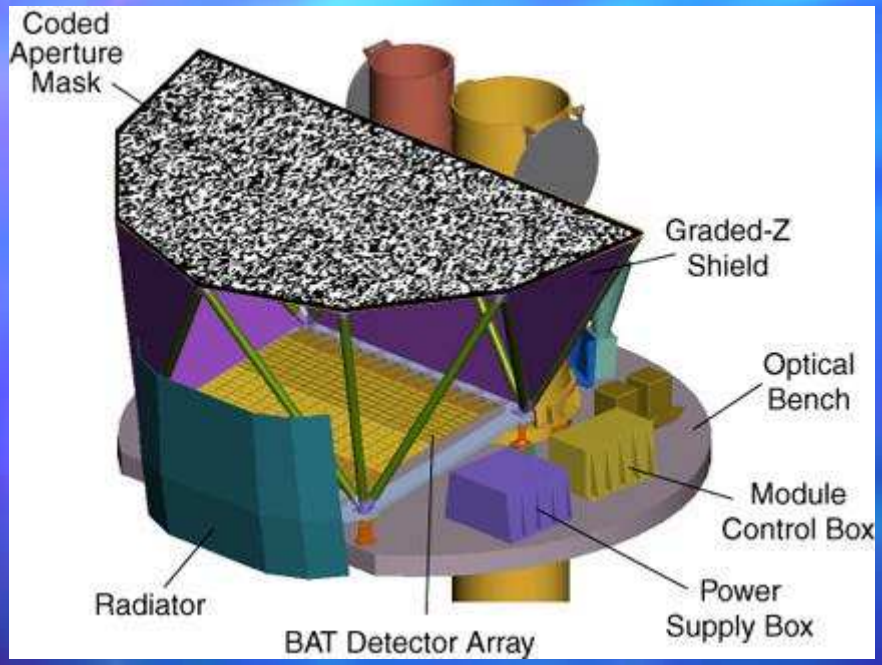
Jordas atmosfære fanger opp stråling med høy energi svært effektivt, noe som gjør også at gammastråling nesten utelukkende kan observeres fra ballonger og satellitter.

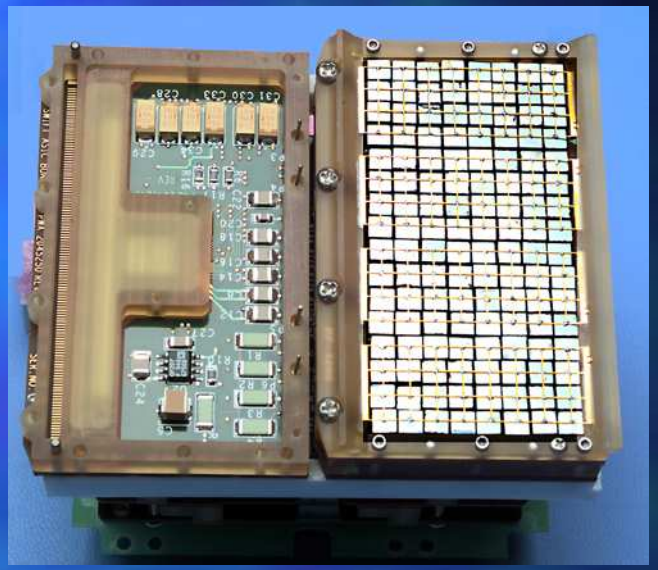
Observasjon av gammastråling er også utfordrende fordi det er vanskelig å skille gammastråling fra kosmisk stråling.

En annen utfordring er at gammastrålingen er så energirik at den fungerer mer som prosjektiler enn som bølger. Man kan derfor ikke bruke linser eller speil for å samle gammastråling til et bilde på en detektor.

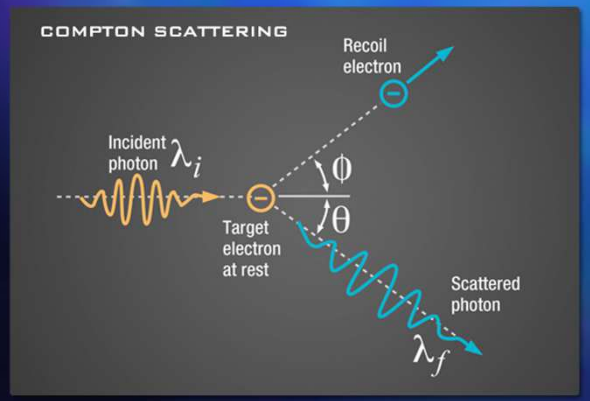
Observasjoner av gammastråling

Swift-satellitten





Detektorene av CdZnTe legering



Detektorene måler partiklene som går gjennom masken ved Comptonspredningen

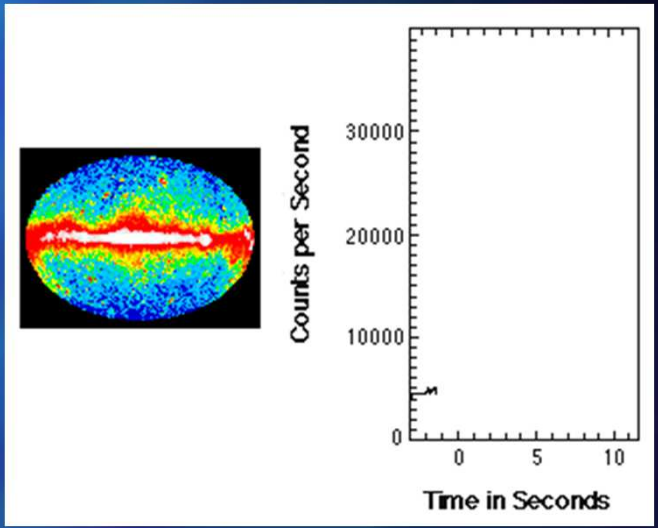
Gammaglimt - GRB

Ekstremt kraftig gammastråling som varer alt fra brøkdelen av et sekund til noen minutter. Sender ut like mye energi på 10 sek som Sola gjør på hele sin levetid!

Gammaglimt observeres med omtrent en dags mellomrom og jevnt fordelt på himmelen, hvilket tyder på at de har sin opprinnelse langt utenfor Melkeveien.

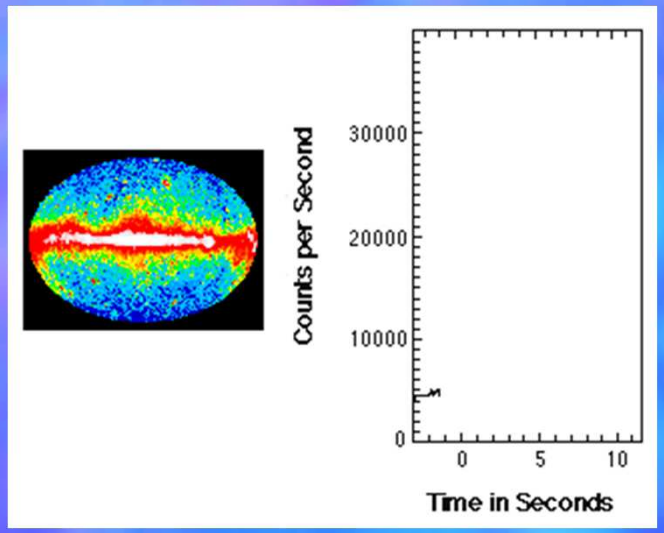
Mest sannsynlig kommer de fra spesielt kraftige supernova- eller hypernovaeksplosjoner hvor enorme stråler av partikler med nær lysets hastighet sendes ut langs stjernens rotasjonsakse. I så fall ser vi gammaglimtet bare hvis stjernens rotasjonsakse peker rett mot oss.

Vi kan se dem på avstander helt opp til ca. 12 milliarder lysår siden de er universets kraftigste kjente energikilde.

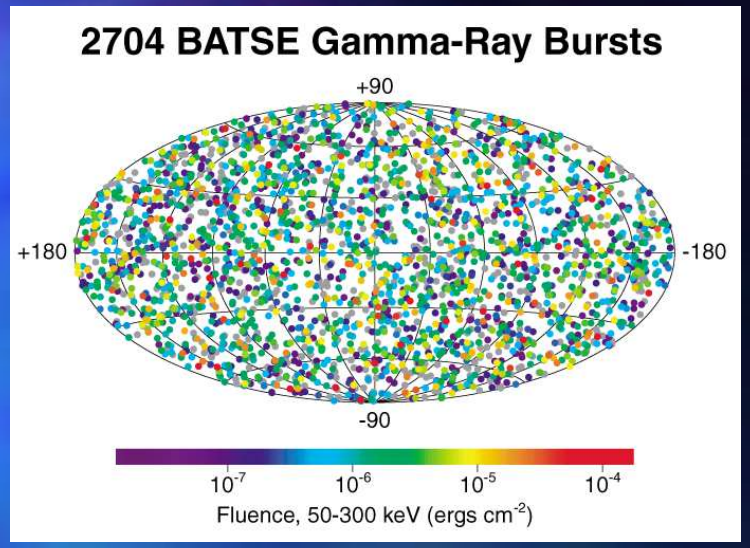


Observasjon av gammaglimt

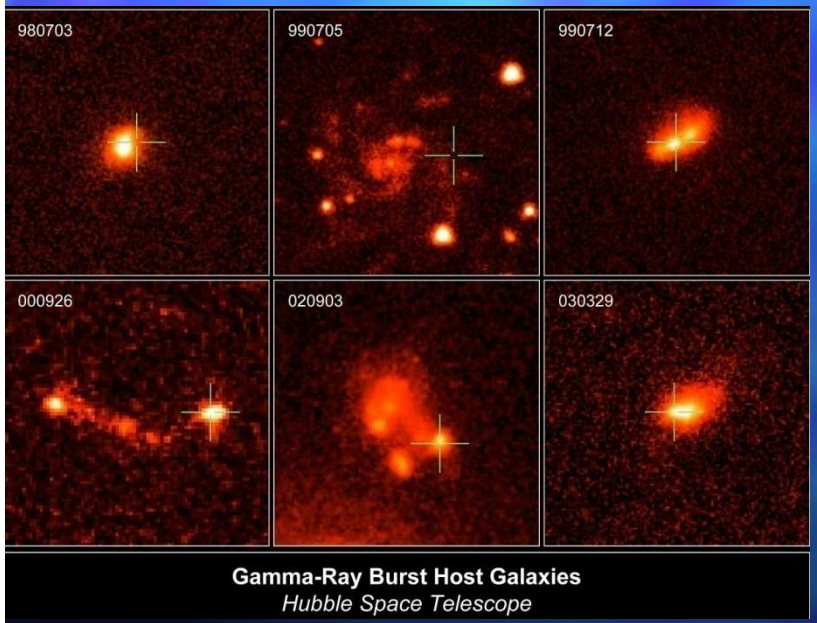
Gammaglimt - GRB



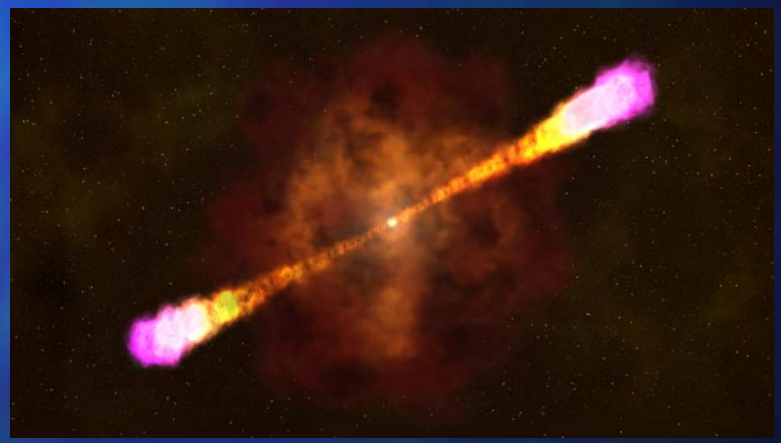
Observasjon av gammaglimt



Fordeling av gammaglimtene



Etterglød fotografert med Hubble

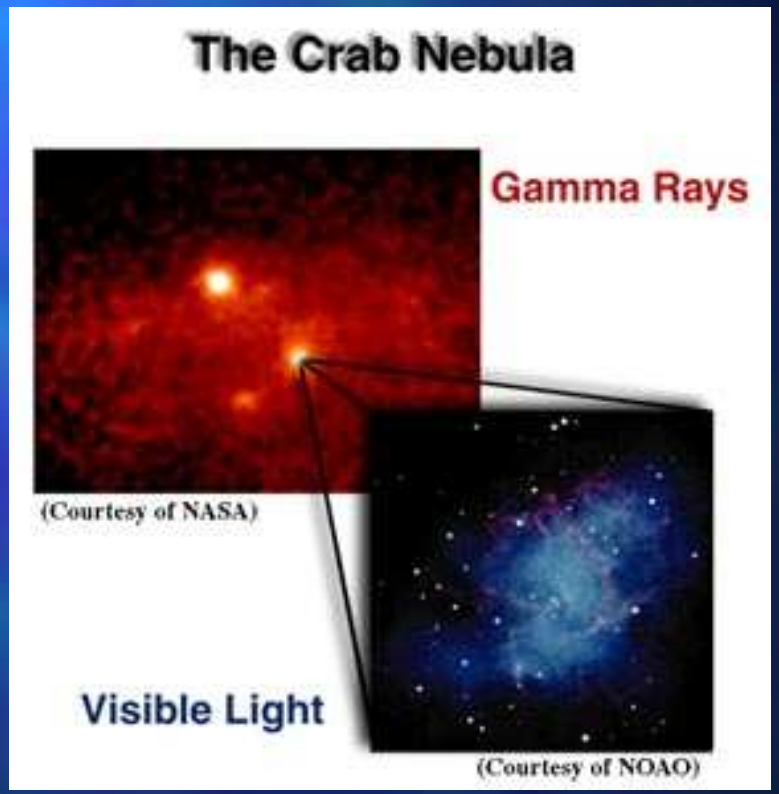


Illustrasjon av supernova-eksplosjon

Gammastråling fra nøytronstjerner og svarte hull

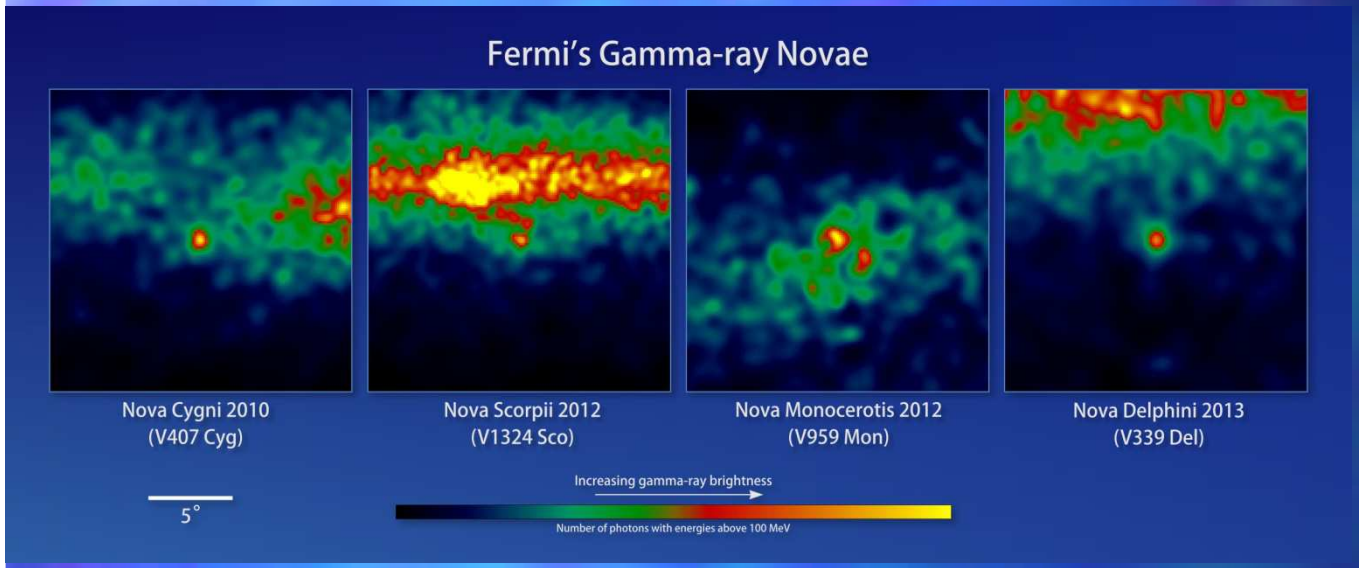
Den enorme gravitasjonen rundt nøytronstjerner og svarte hull gjør at annen masse i nærheten av objektet trekkes inn mot det med utrolig høye hastigheter rett før det når objektet. Dynamisk friksjon fører til temperaturer opp i ti millioner grader, hvilket betyr at en betydelig andel av energien sendes ut som røntgenstråling og lav-energi gammastråling .

Velapulsaren, en nøytronstjerne sender ut pulser i gammaområdet



Pulsaren i Krabbetåken – M1

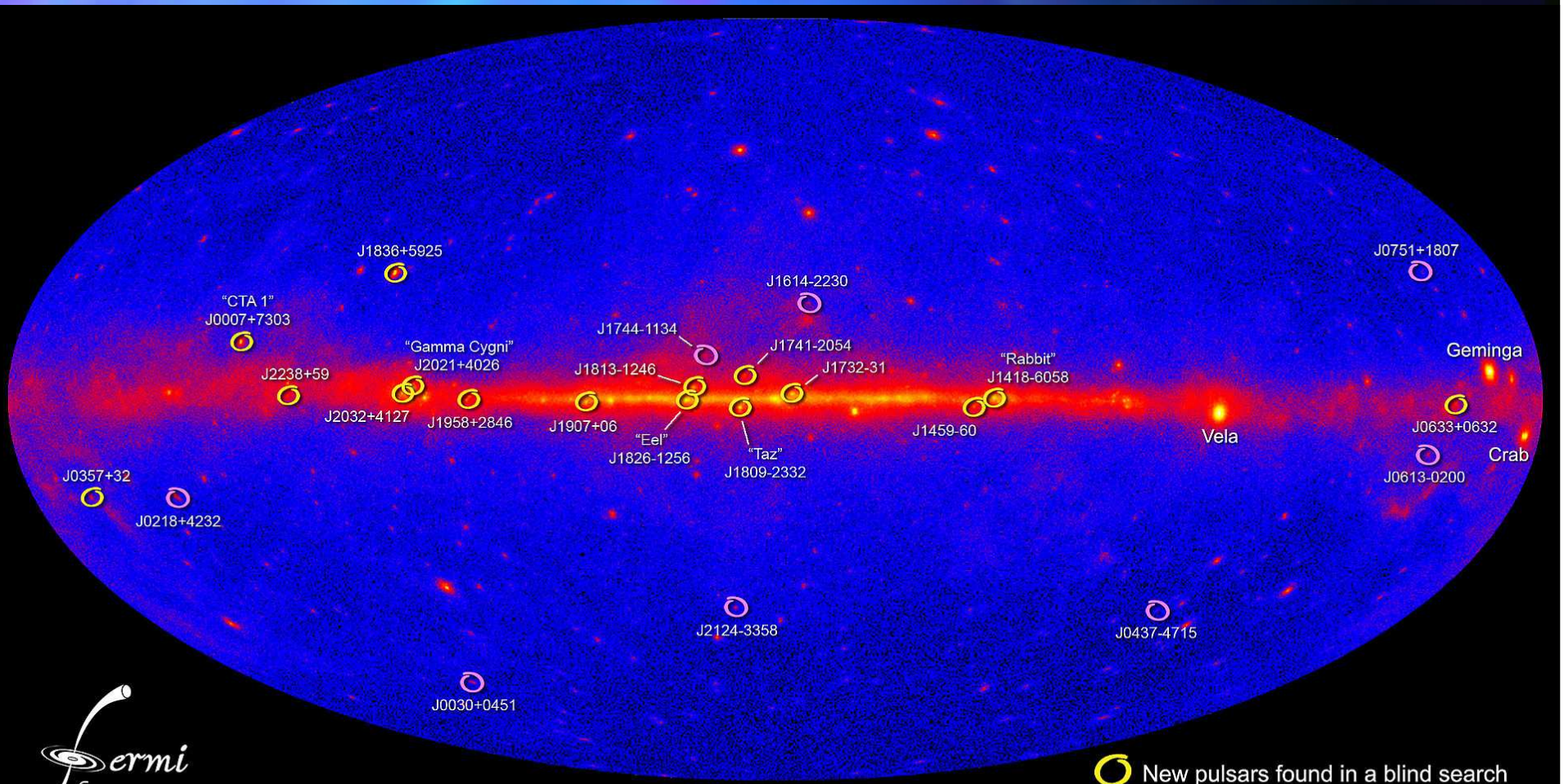
Gammastråling fra klassiske novaer



Svært overraskende at det kan produseres så høye energier i novaeksplosjoner

Kan skyldes flere sjokkfronter med forskjellig hastighet i gass rundt dvergstjernen.

Himmelen i gammastråling

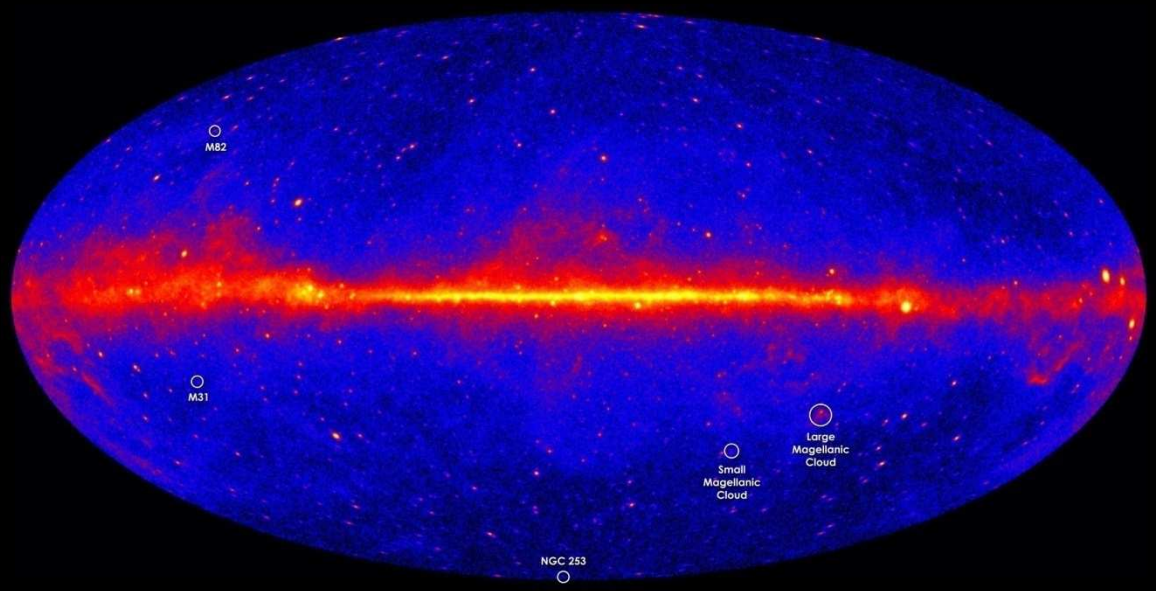


Fermi Gamma-ray Space Telescope

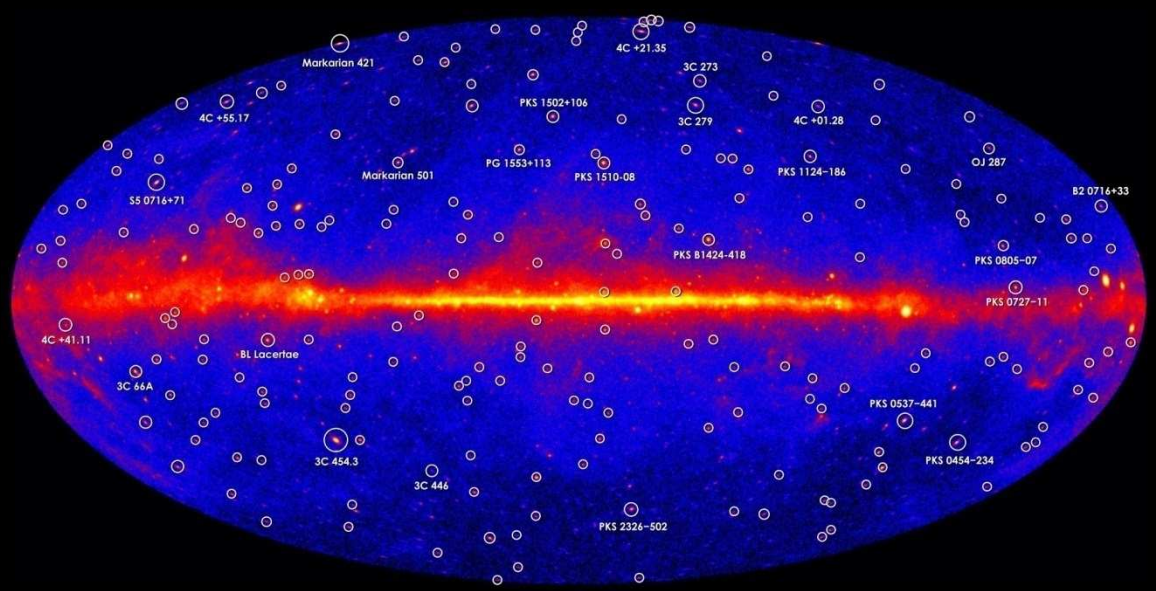
Energier over 1 GeV

Melkeveien går tvers over bildet. Energier i gammaområdet skyldes sjokkbølger skapt i supernovaeksplosjoner som kolliderer med gass.

Himmelen i gammastråling

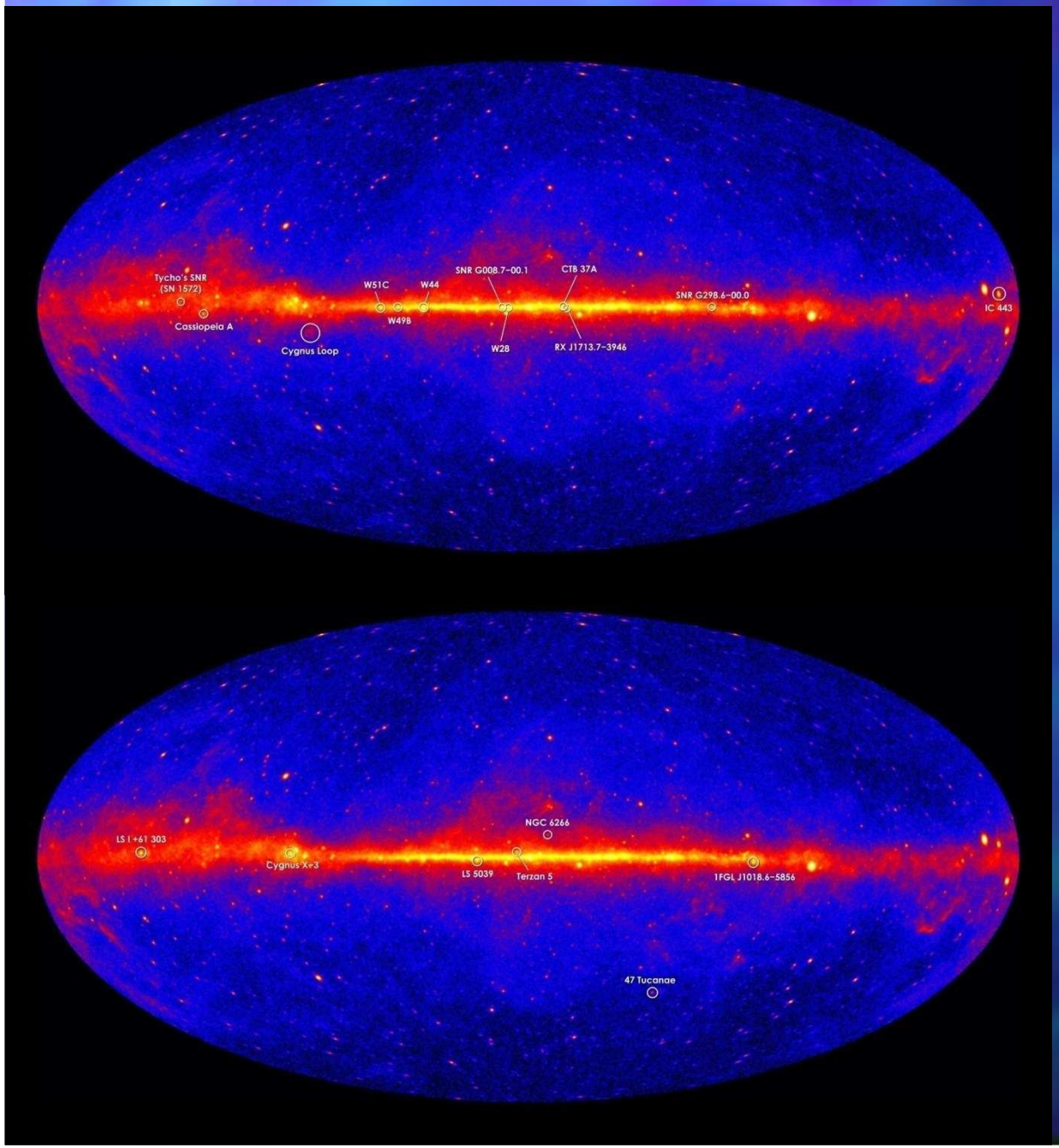


Normale galakser



Blasarer

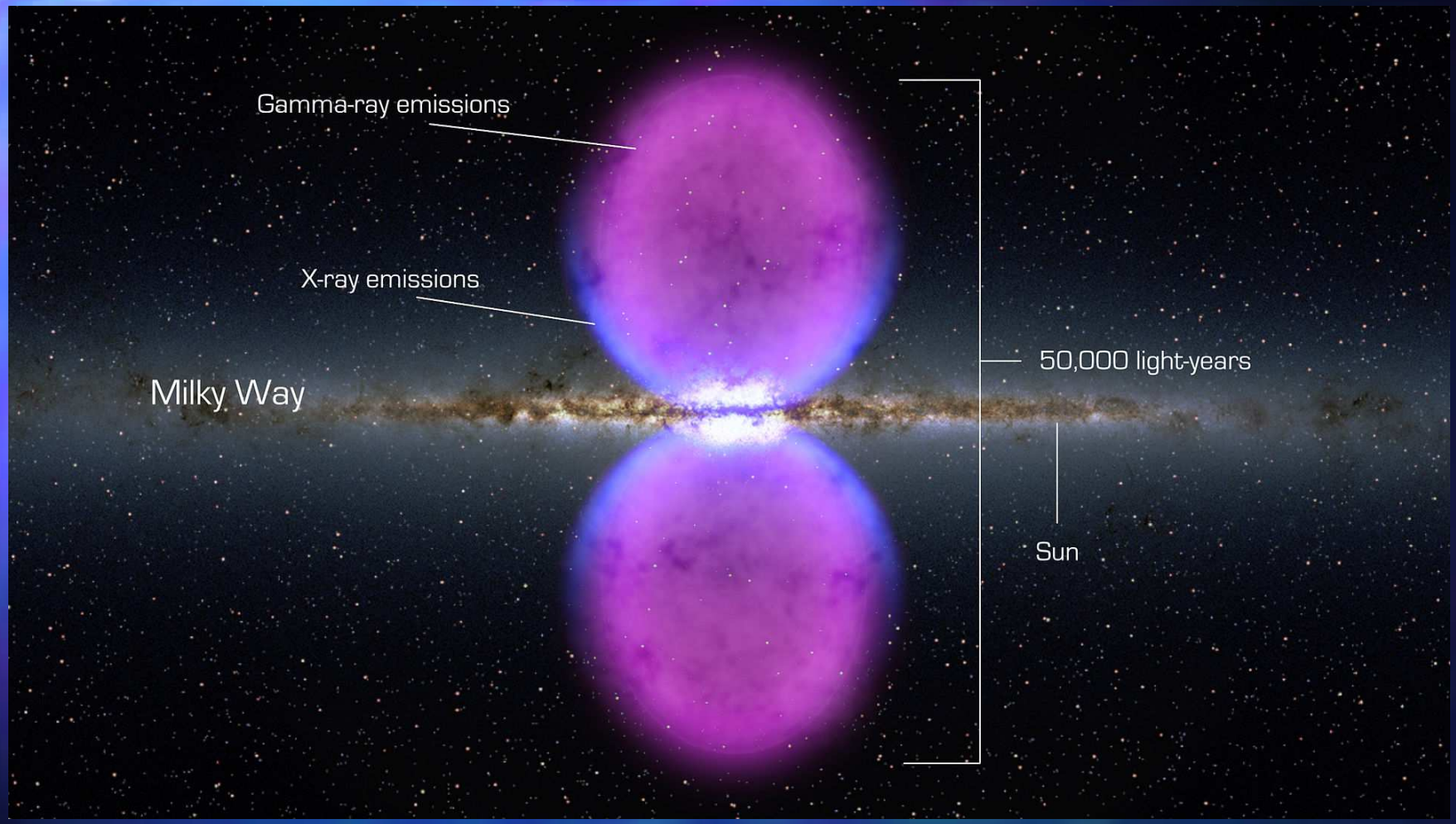
Himmelen i gammastråling



Supernovarester

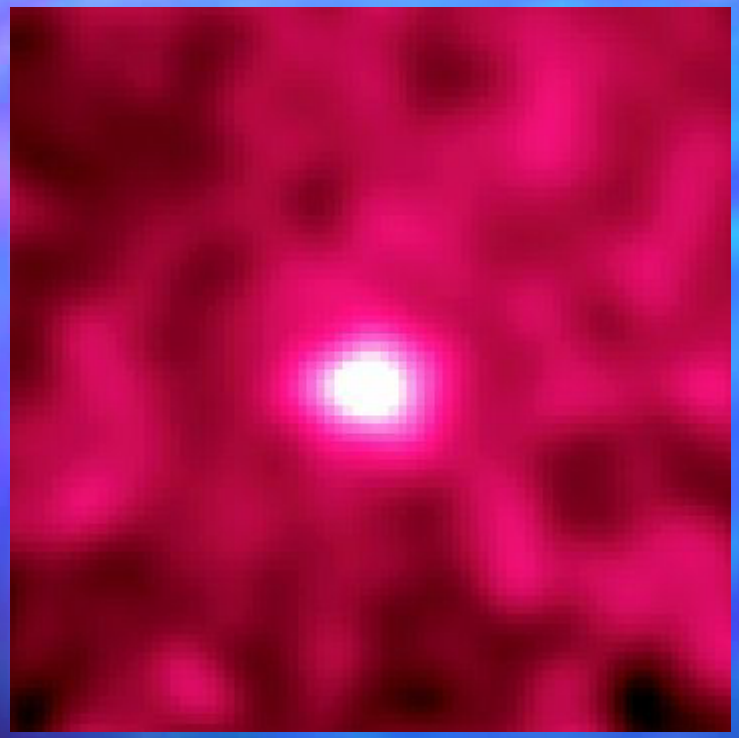
Kulehoper og massive dobbeltstjernesystemer

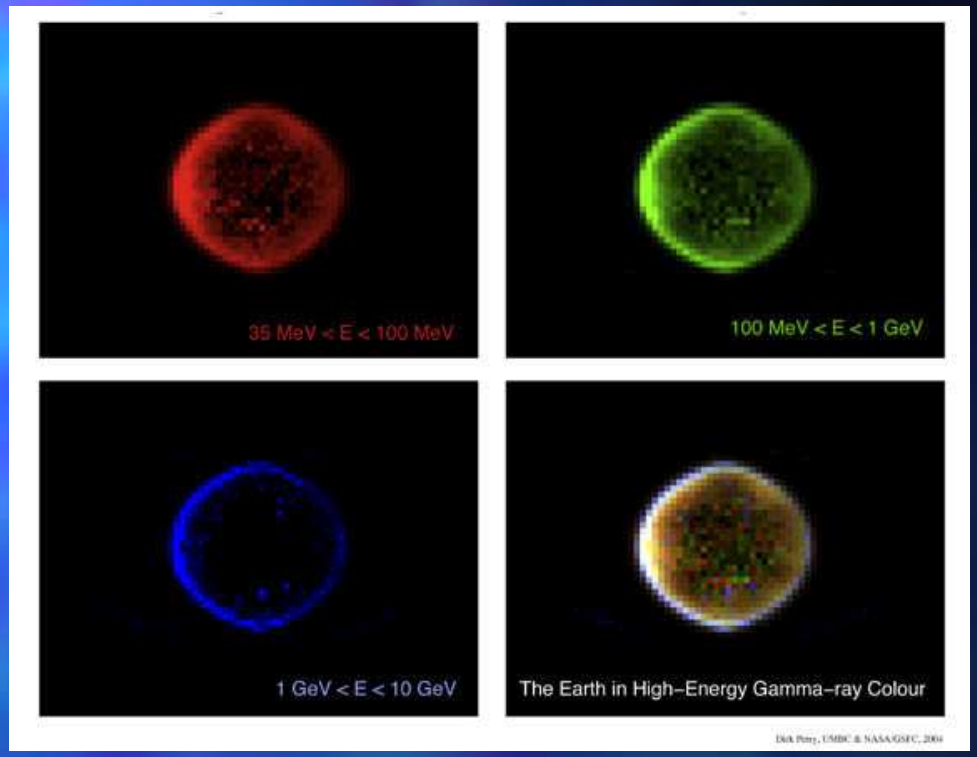
Gamma-boble rundt Melkeveien



Kan stamme fra massivt svart hull eller tidligere historie med massiv stjernedannelse og supernovaeksplosjoner.

Månen og Jorda i gamma-området

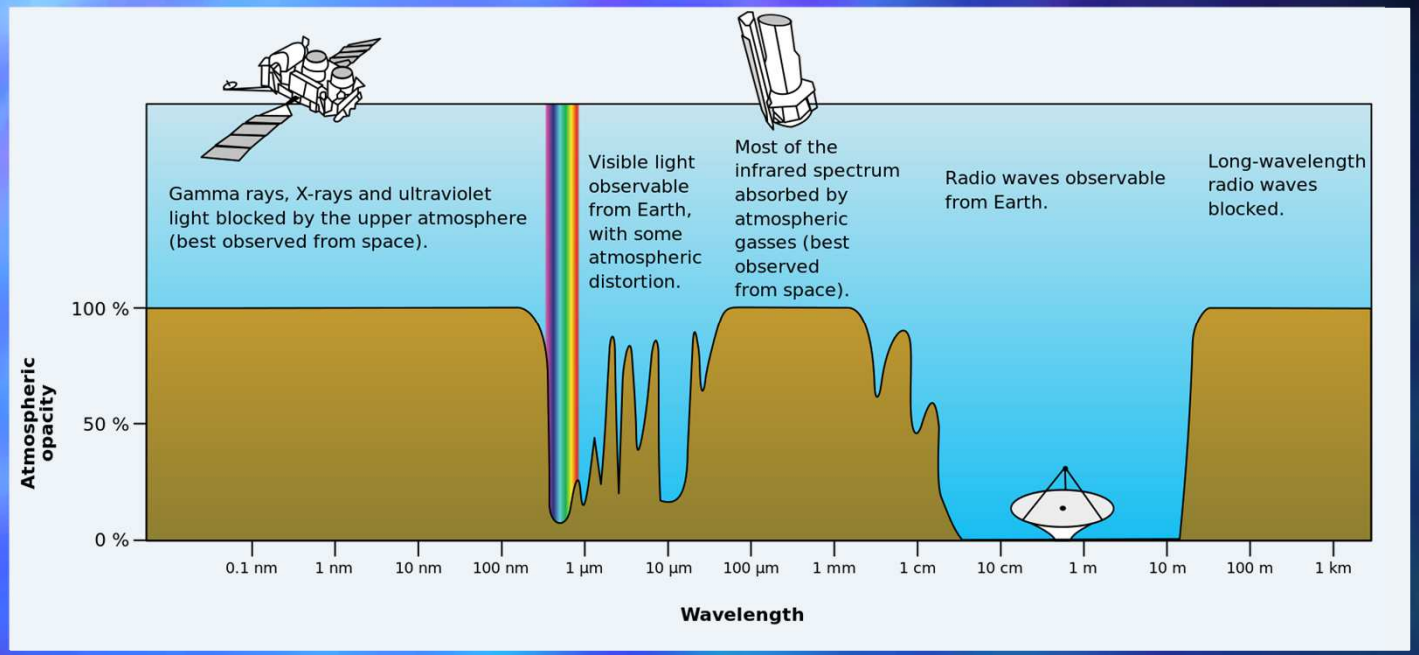




Månen:
Energier over 20 MeV, skyldes kosmisk stråling som treffer overflaten

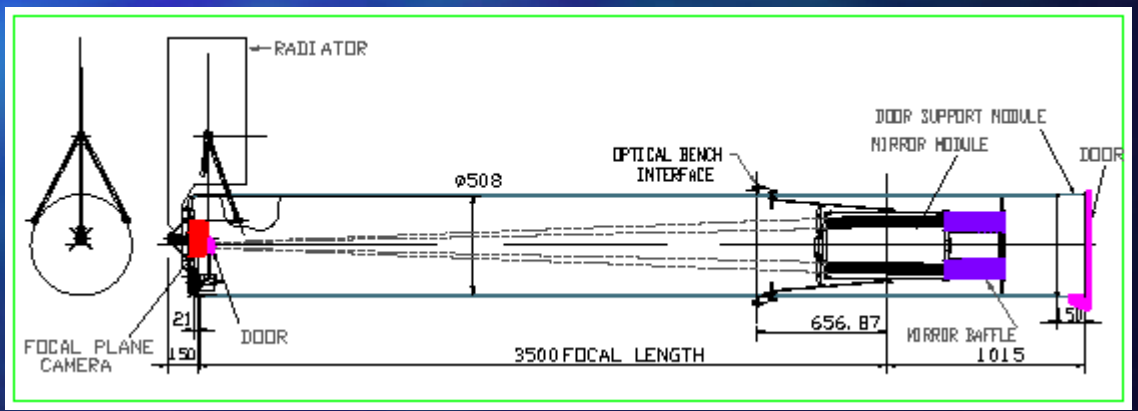
Jorda:
Kosmisk stråling som treffer atmosfæren

Observasjoner av røntgenstråling



Røntgenstråling er energirik stråling med bølgelengder mellom 0.03 nm og 3 nm (nanometer). Totalt blokkert av atmosfæren.

For å observere røntgen-stråling bruker man speil/metallfolie som har en høy vinkel til innstrålingen, ellers ville strålingen bli absorbert.

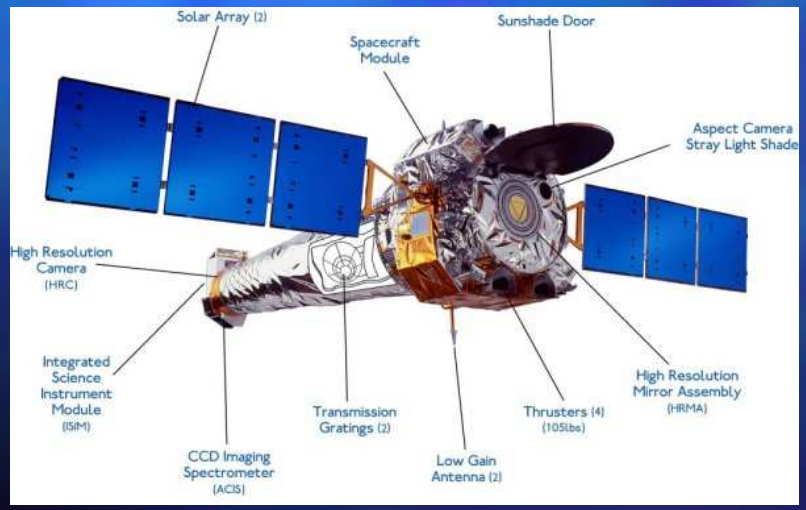


Kilder til røntgenstråling

Røntgenstråling detekteres fra objekter med temperaturer på millioner av grader.

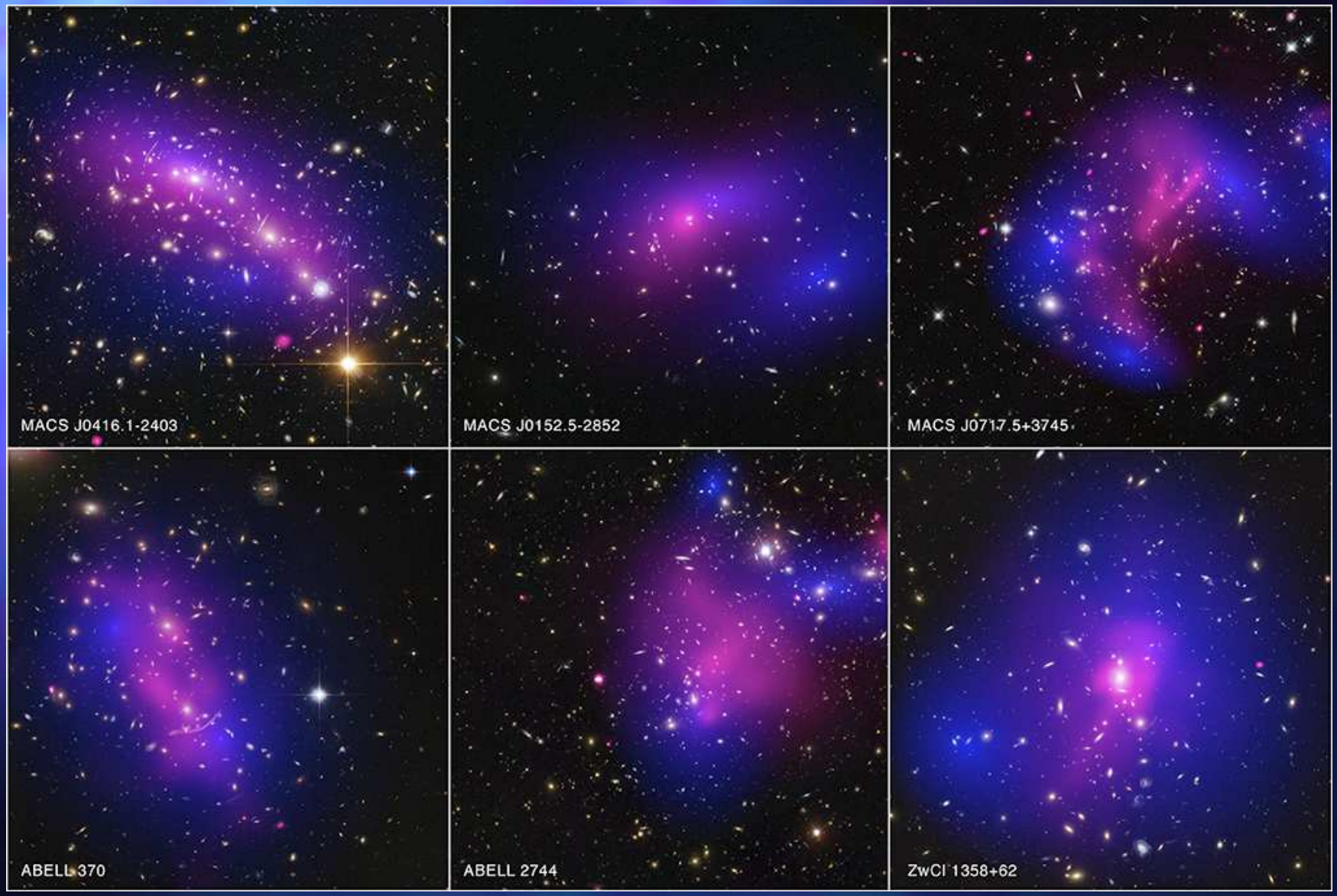
Objekter er gass i galaksehoper, supernovaer og supernovarester, pulsarer, akkresjonsskiver rundt pulsarer og svarte hull, kataklysmiske variable stjerner

Solas korona, Nordlys, kometer, fra Månens overflate og Saturns atmosfære (gjenutsendelse av røntgenstråling fra Sola), Nordlys på Jupiter.....



Røntgenobservatoriet Chandra

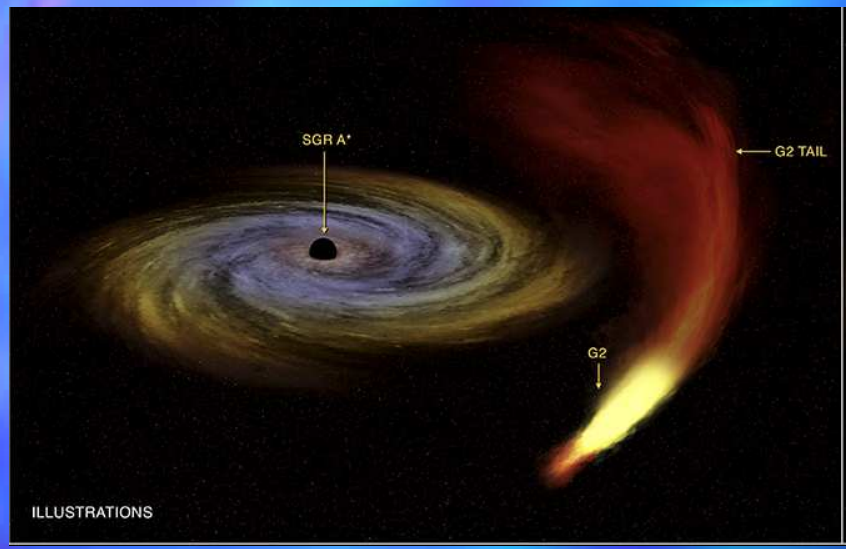
Røntgenstråling

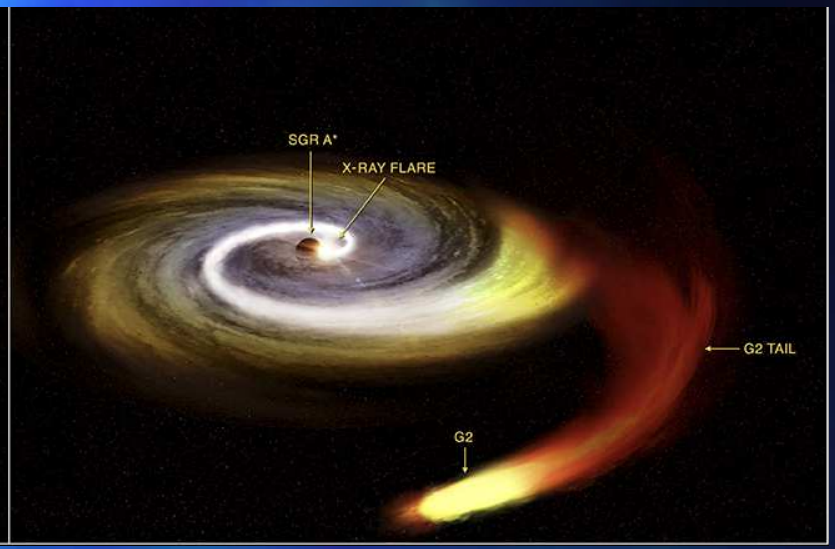


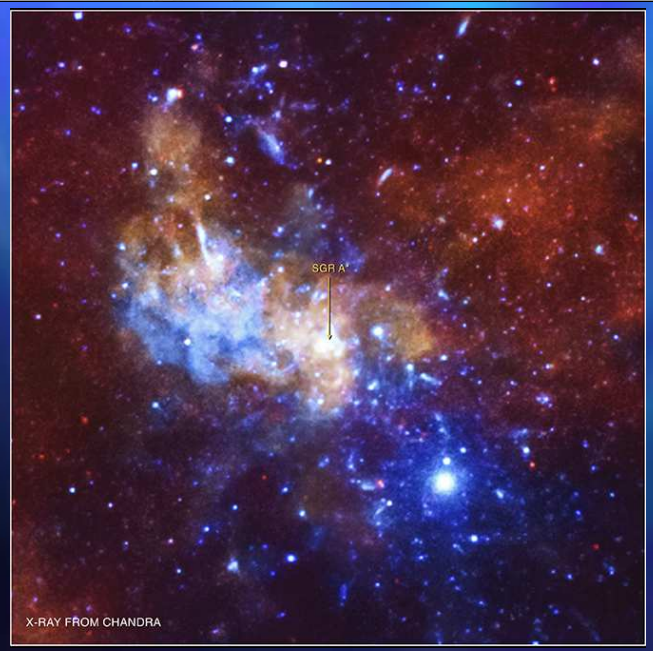
Røntgenstråling fra varm gass i galaksehoper og mørk materie

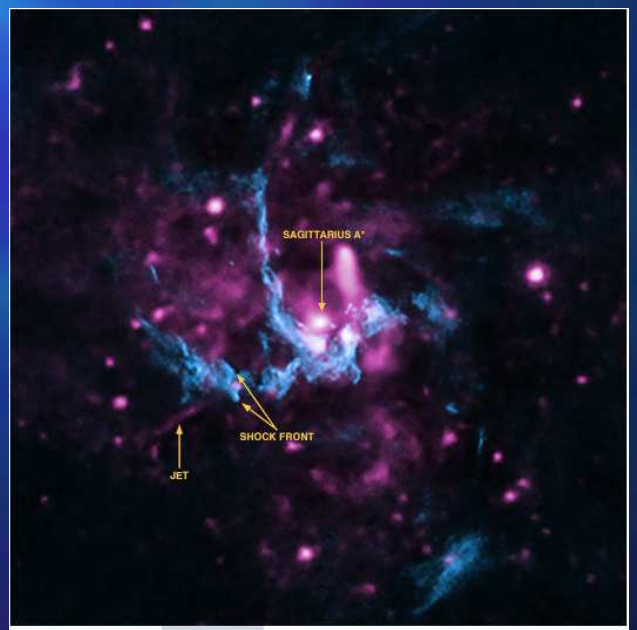
Røntgenstråling

Aktivitet i Melkeveiens sentrale svarte hull





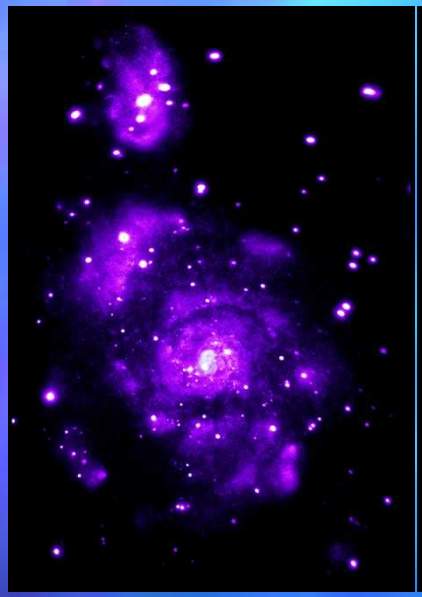




View Wavelengths Composite X-ray Radio

Røntgenstråling

M51 sett i forskjellige bølgelengder

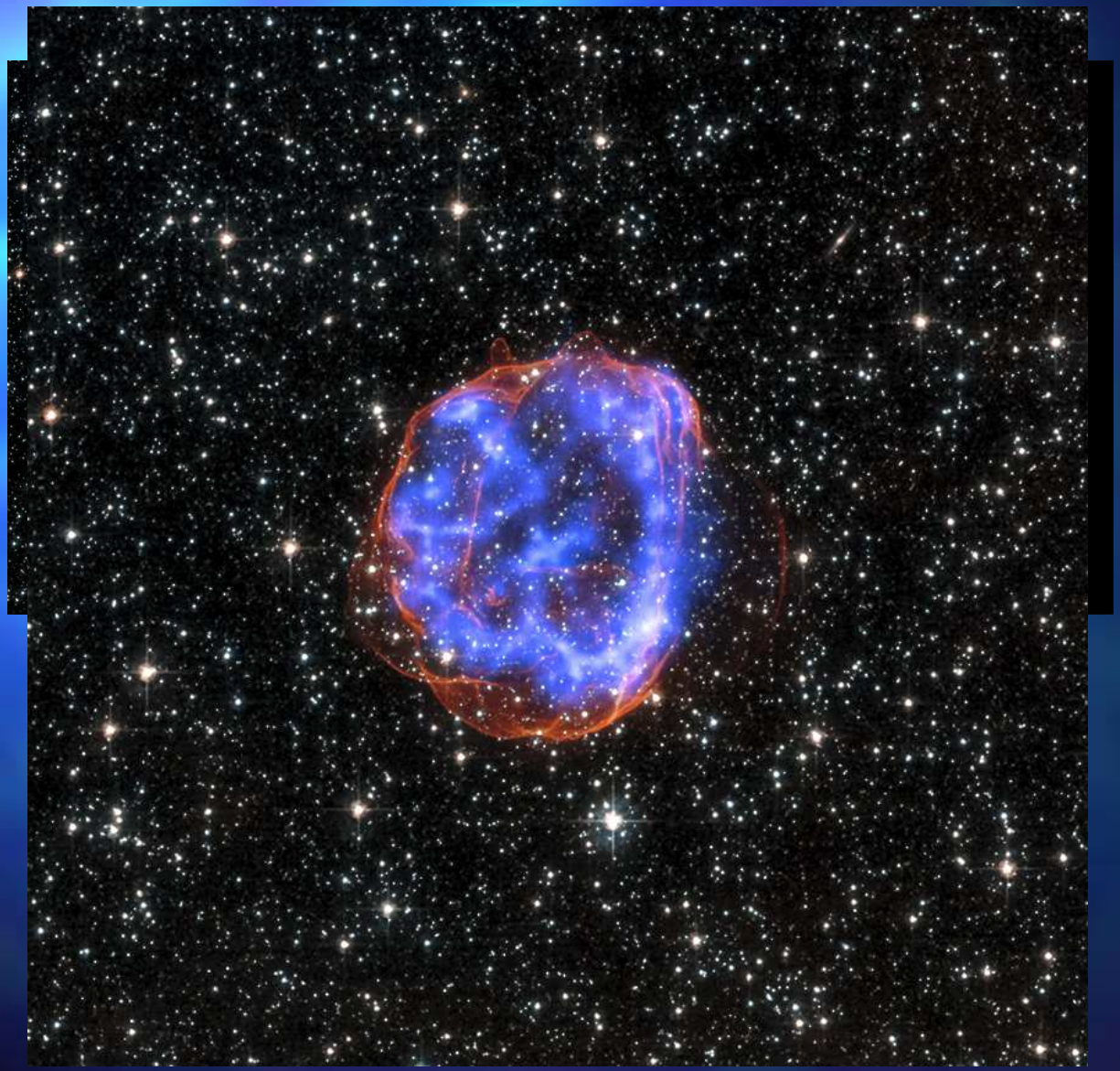


Røntgen

IR

Røntgenstråling

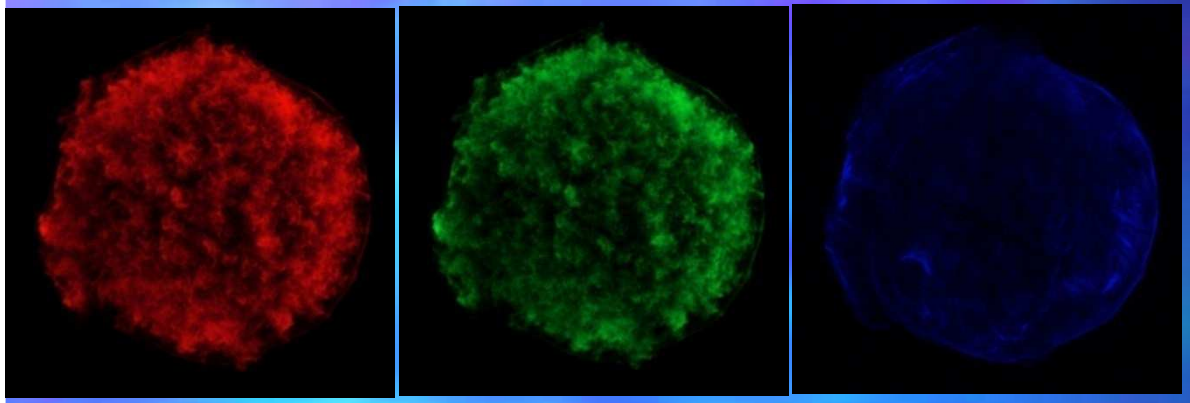
Supernovarest i Den Store Magellanske Sky

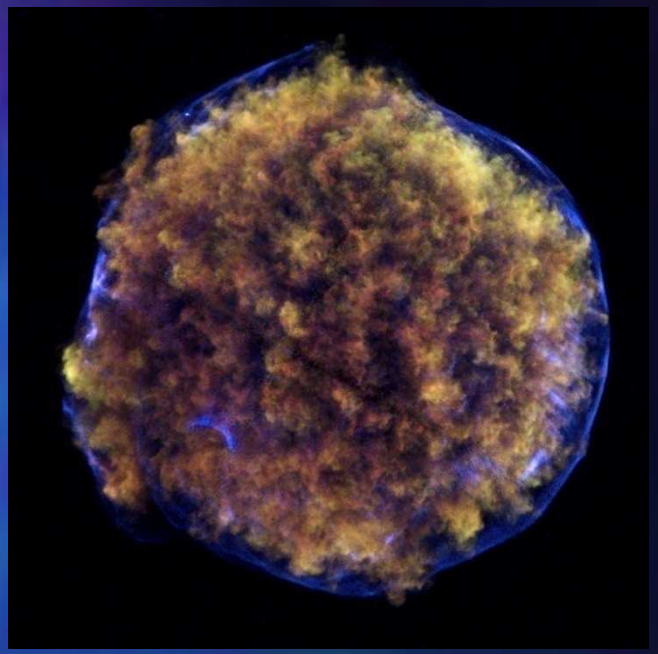


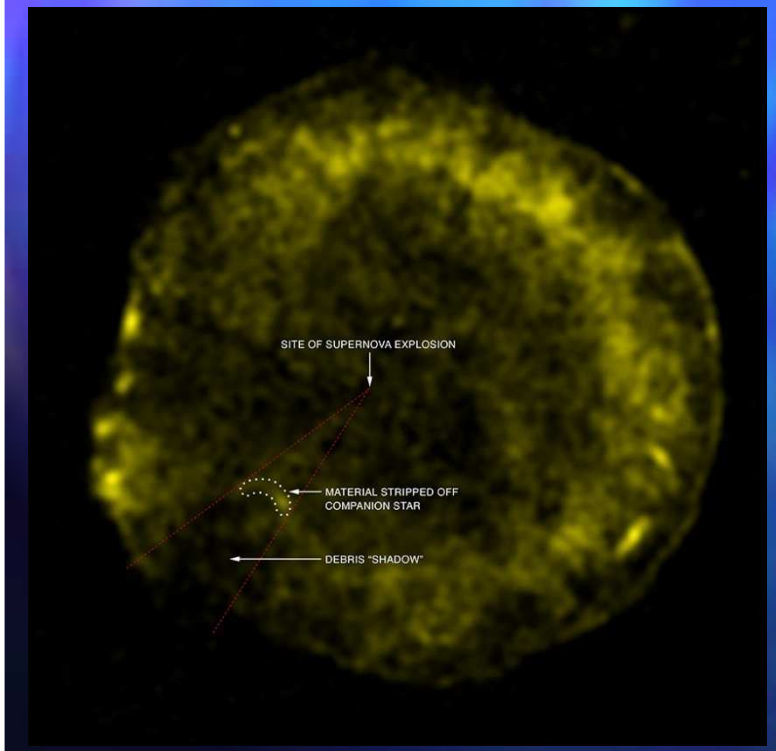
Røntgenstråling

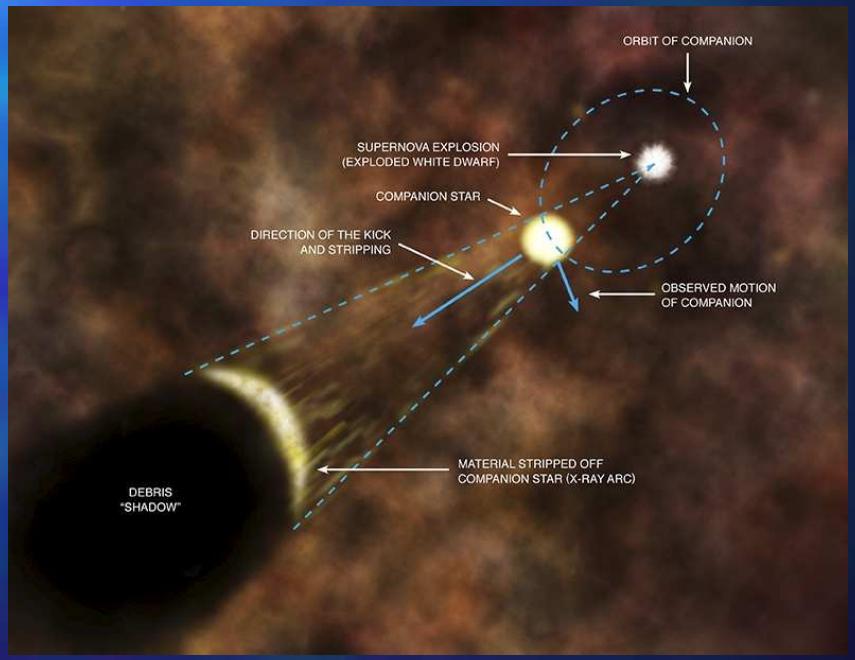
Pulsarer og Supernovarester

Røntgenstråling



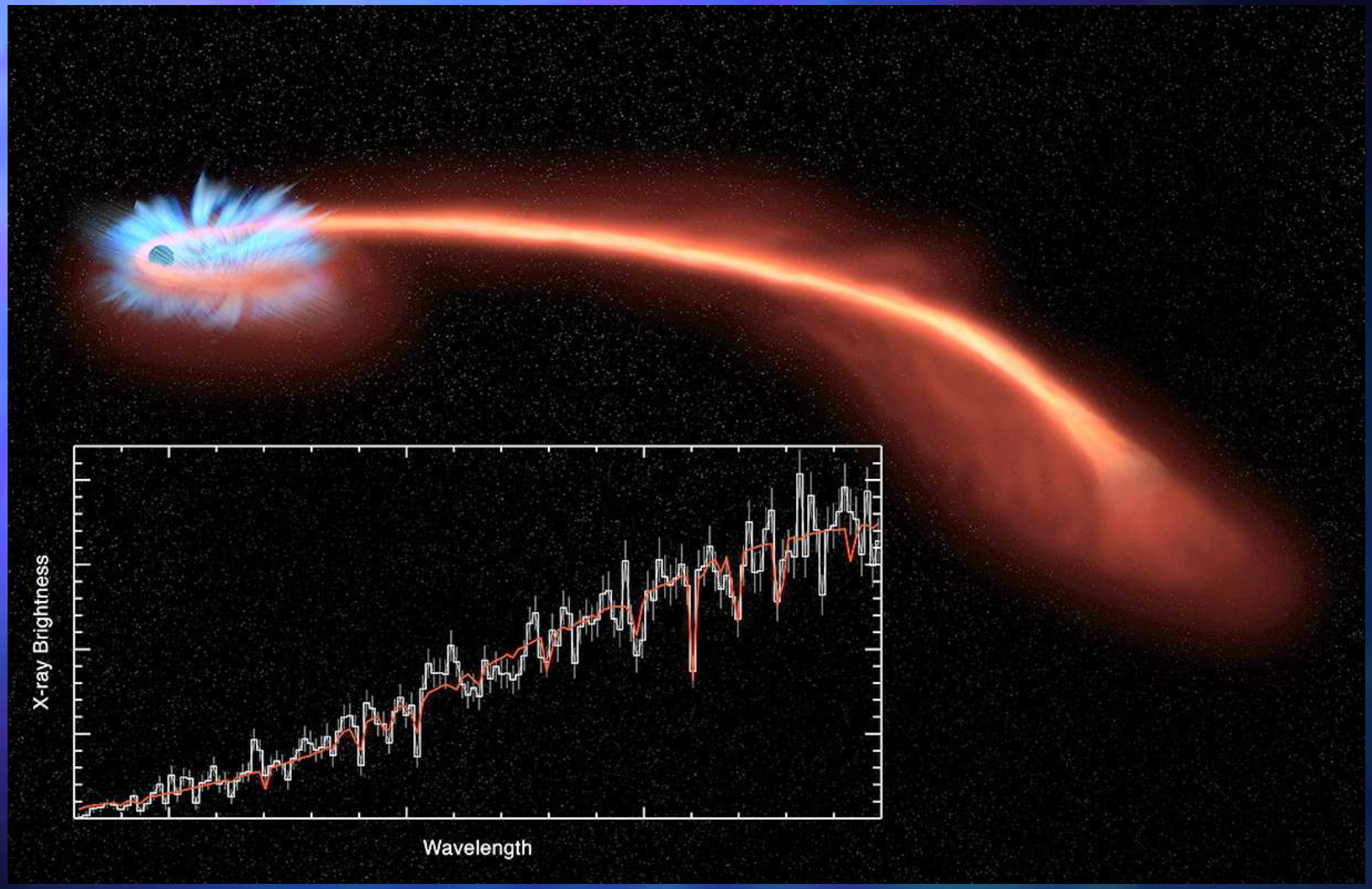






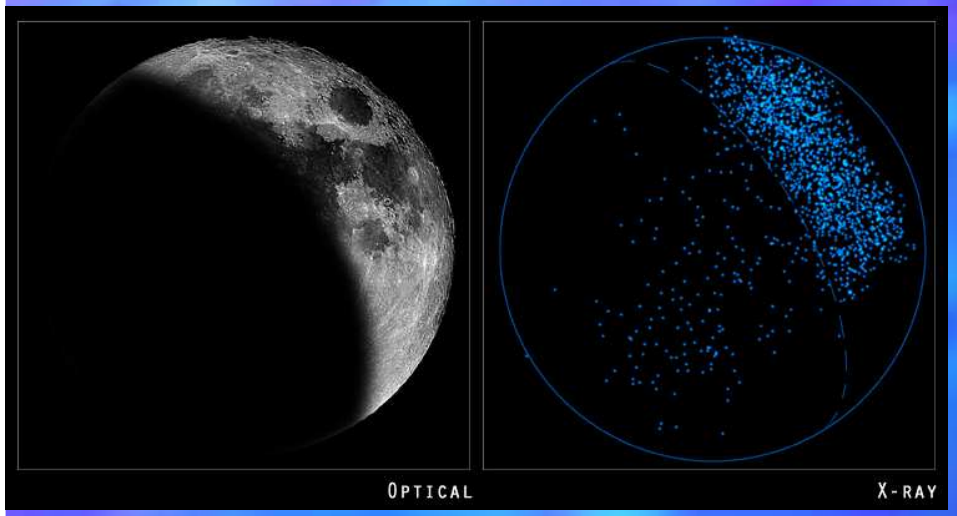
Tychos Supernova

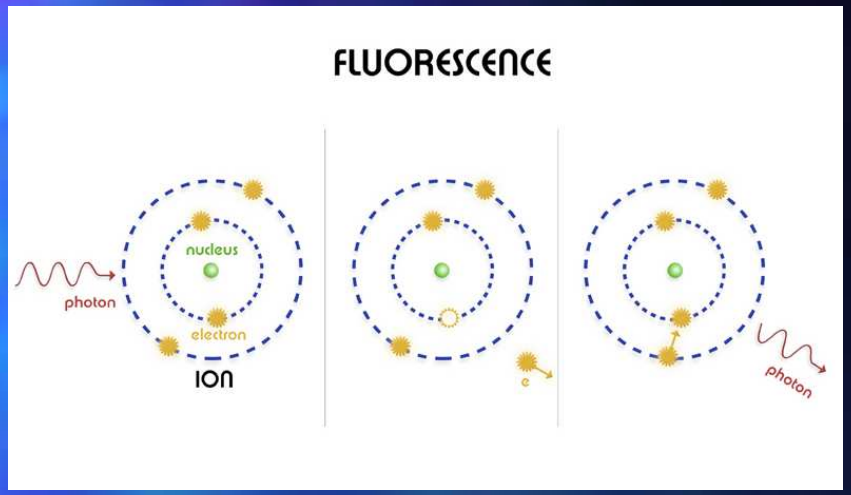
Røntgenstråling



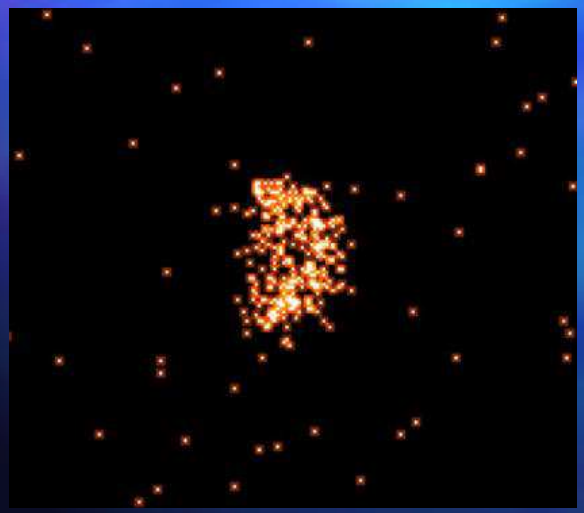
Ett svart hull som river en stjerne i stykker (Chandra-data). Spektral-linjer viser materie som kastes ut mot oss (blåforskjøvet)

Røntgenstråling

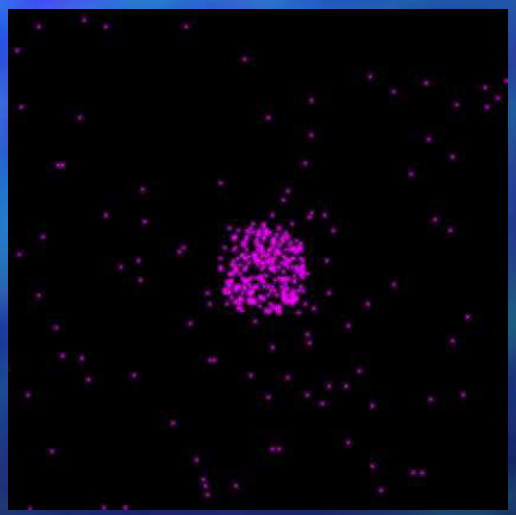




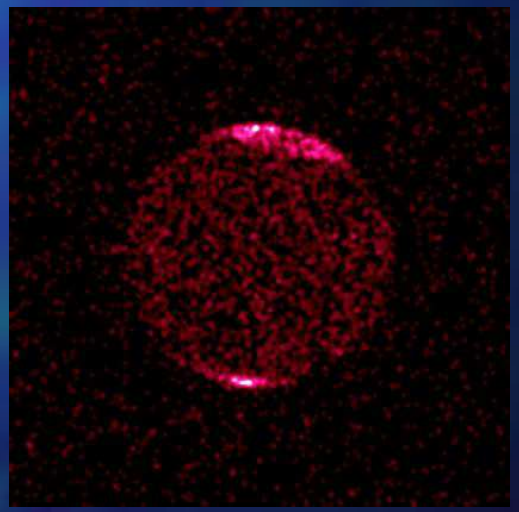
Røntgenstråler fra oksygen, magnesium, aluminium og silisium atomer, dannet ved fluorescens når røntgenstråling fra Sola treffer måneoverflaten.



Venus

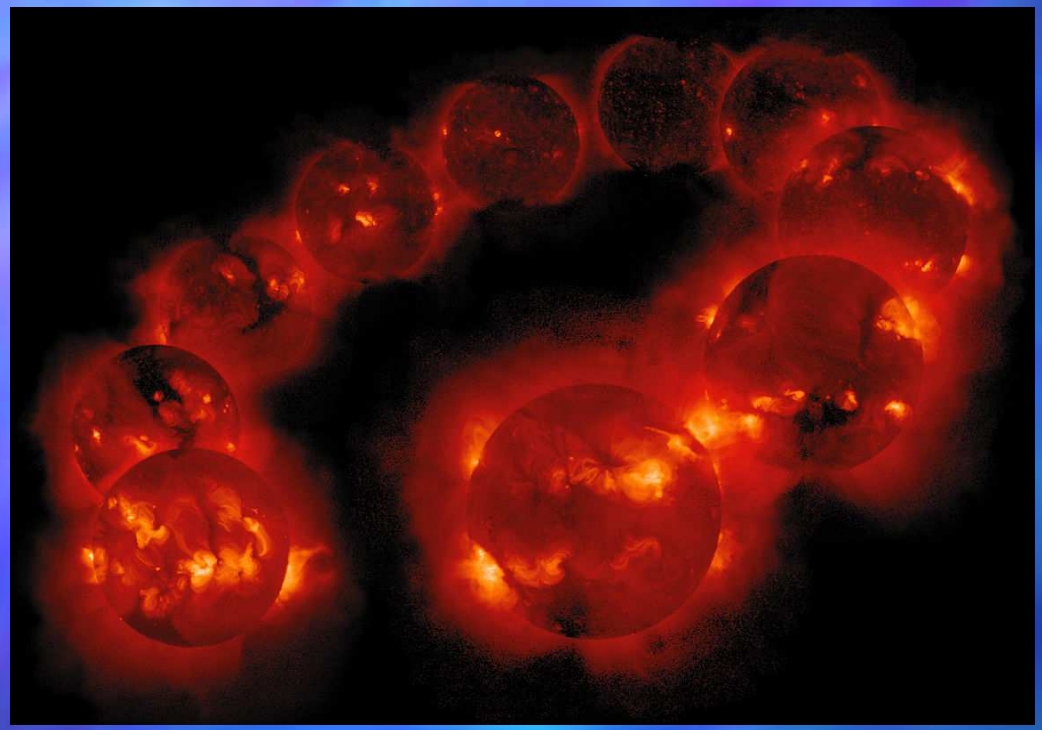


Mars

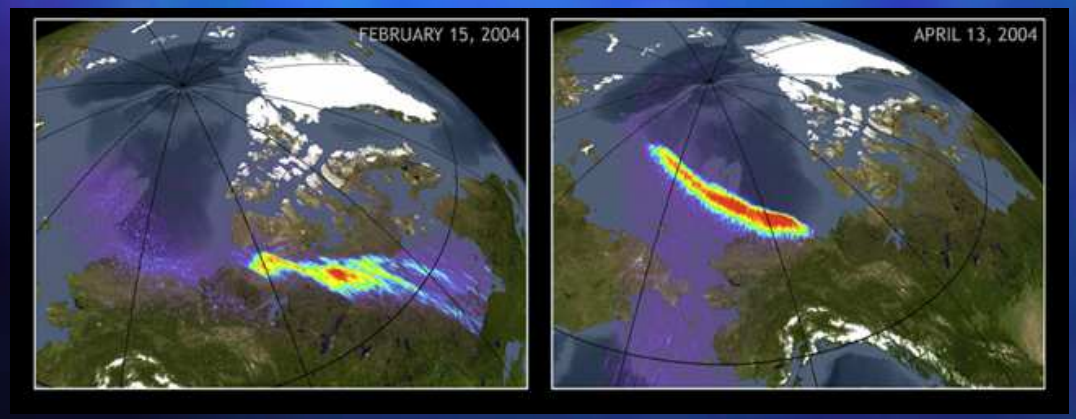


Jupiter

Røntgenstråling



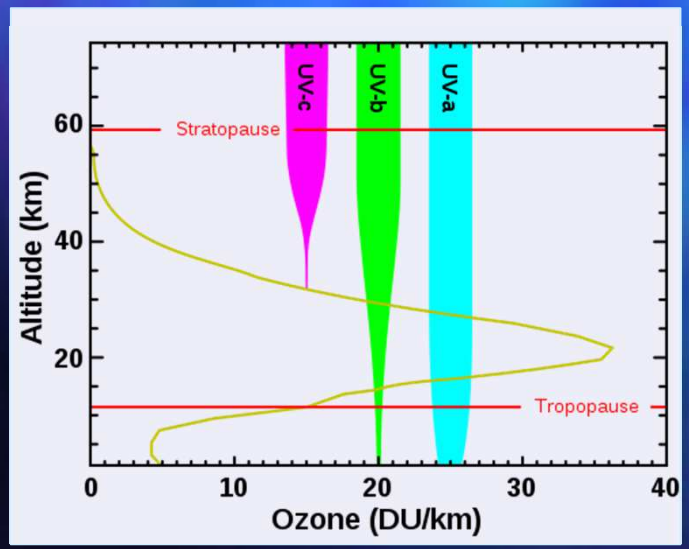
Røntgenstråling fra Solas corona gjennom en 11-års solflekksyklus.



Røntgenstråling fra nordlys

Observasjoner i ultrafiolett

Name	Abbreviation	Wavelength range in nanometers	Energy per photon
Before UV spectrum	*Visible light*	*above 400 nm*	*below 3.10 eV*
Ultraviolet A, long wave, or black light	UVA	400 nm–315 nm	3.10–3.94 eV
Near	NUV	400 nm–300 nm	3.10–4.13 eV
Ultraviolet B or medium wave	UVB	315 nm–280 nm	3.94–4.43 eV
Middle	MUV	300 nm–200 nm	4.13–6.20 eV
Ultraviolet C, short wave, or germicidal	UVC	280 nm–100 nm	4.43–12.4 eV
Far	FUV	200 nm–122 nm	6.20–10.2 eV
Vacuum	VUV	200 nm–100 nm	6.20–12.4 eV
Low	LUV	100 nm–88 nm	12.4–14.1 eV
Super	SUV	150 nm–10 nm	8.28–124 eV
Extreme	EUV	121 nm–10 nm	10.2–124 eV
Beyond UV range	*X-rays*	*below 10 nm*	*above 124 eV*



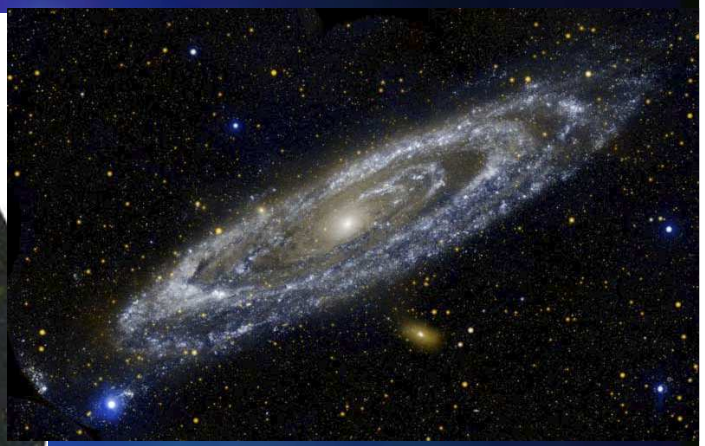
UV dekker bølgelengdeområdet fra 10 – 400 nanometer.
Stråling i UVA, noe UVB til ca. 300 nm kan detekteres fra jordoverflaten, mens UVB og kortere detekteres fra rommet

Observasjoner i ultrafiolett

Galakser i UV

M33

M81 og M82

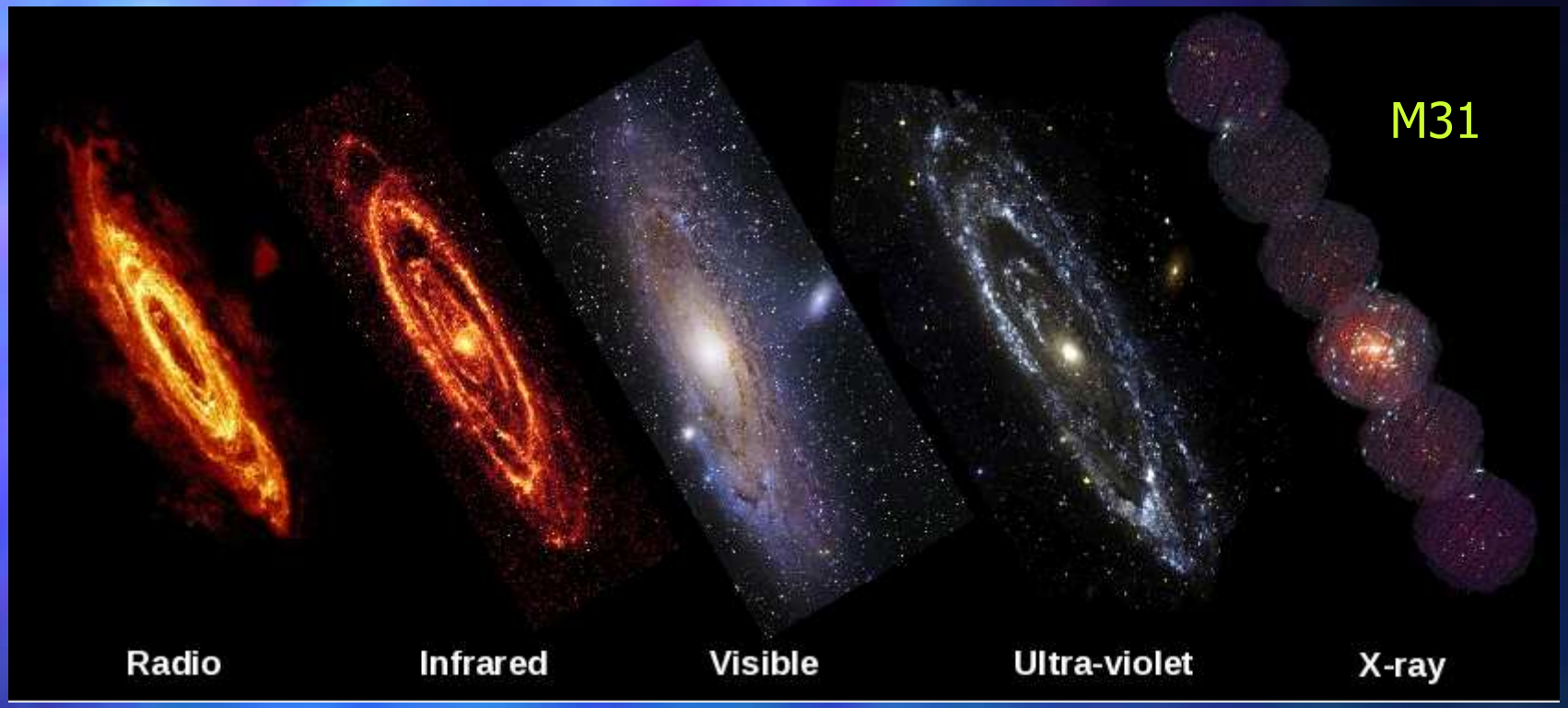


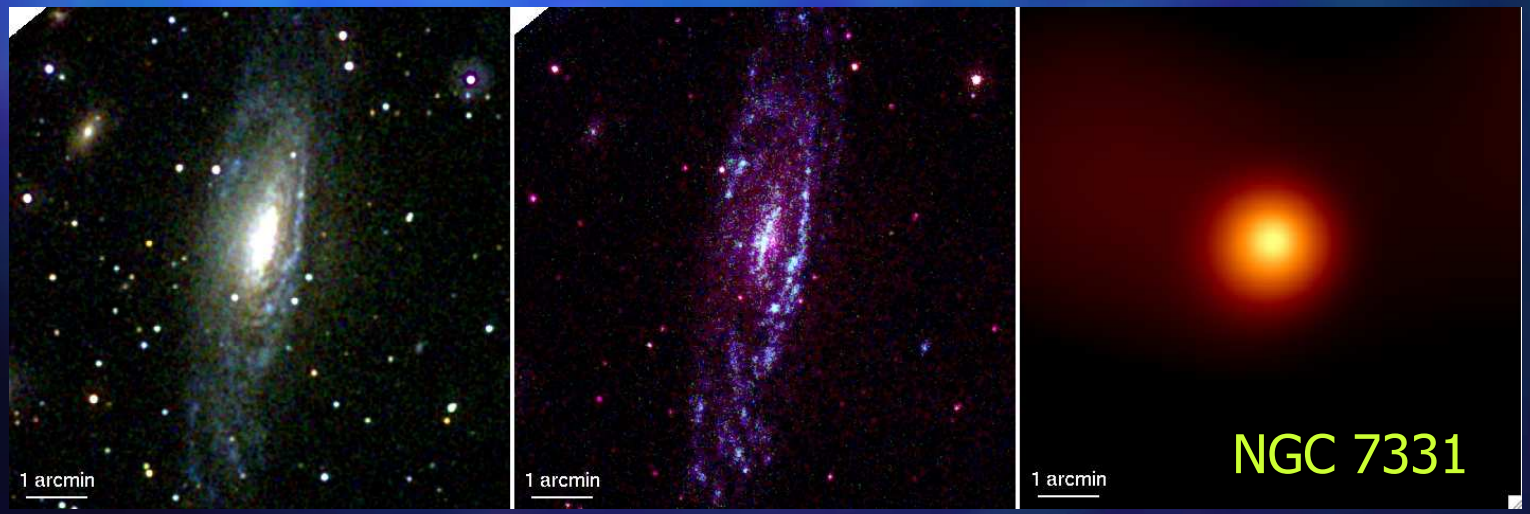
M31

Nydannede stjerner i spiralarmene lyser sterkest i UV, det samme gjør gamle stjerner på slutten av sitt liv.

Observasjoner i ultrafiolett

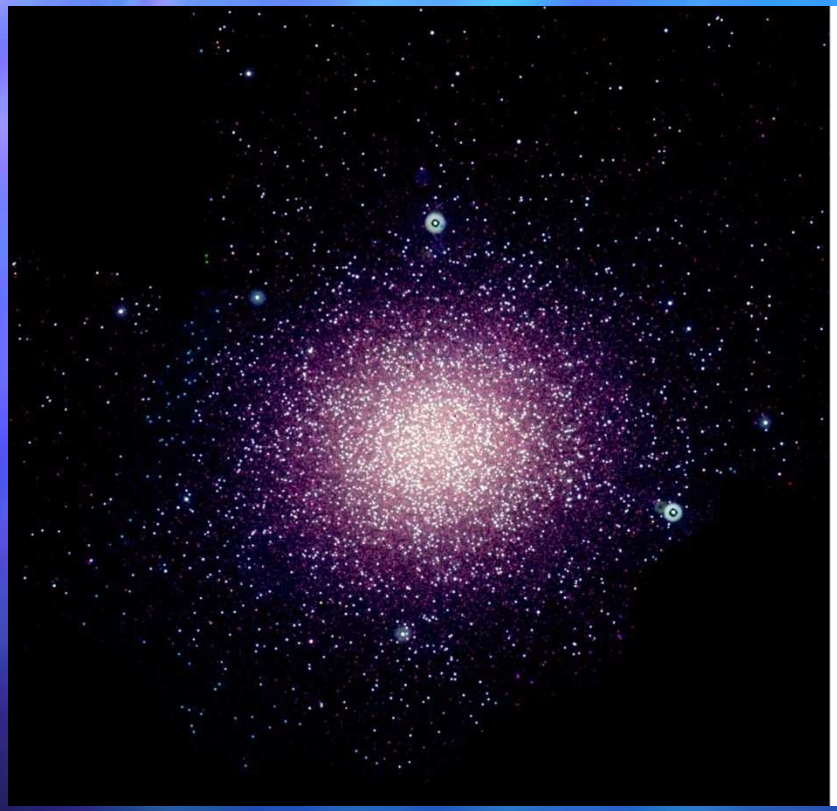
Galakser i UV





Observasjoner i ultrafiolett

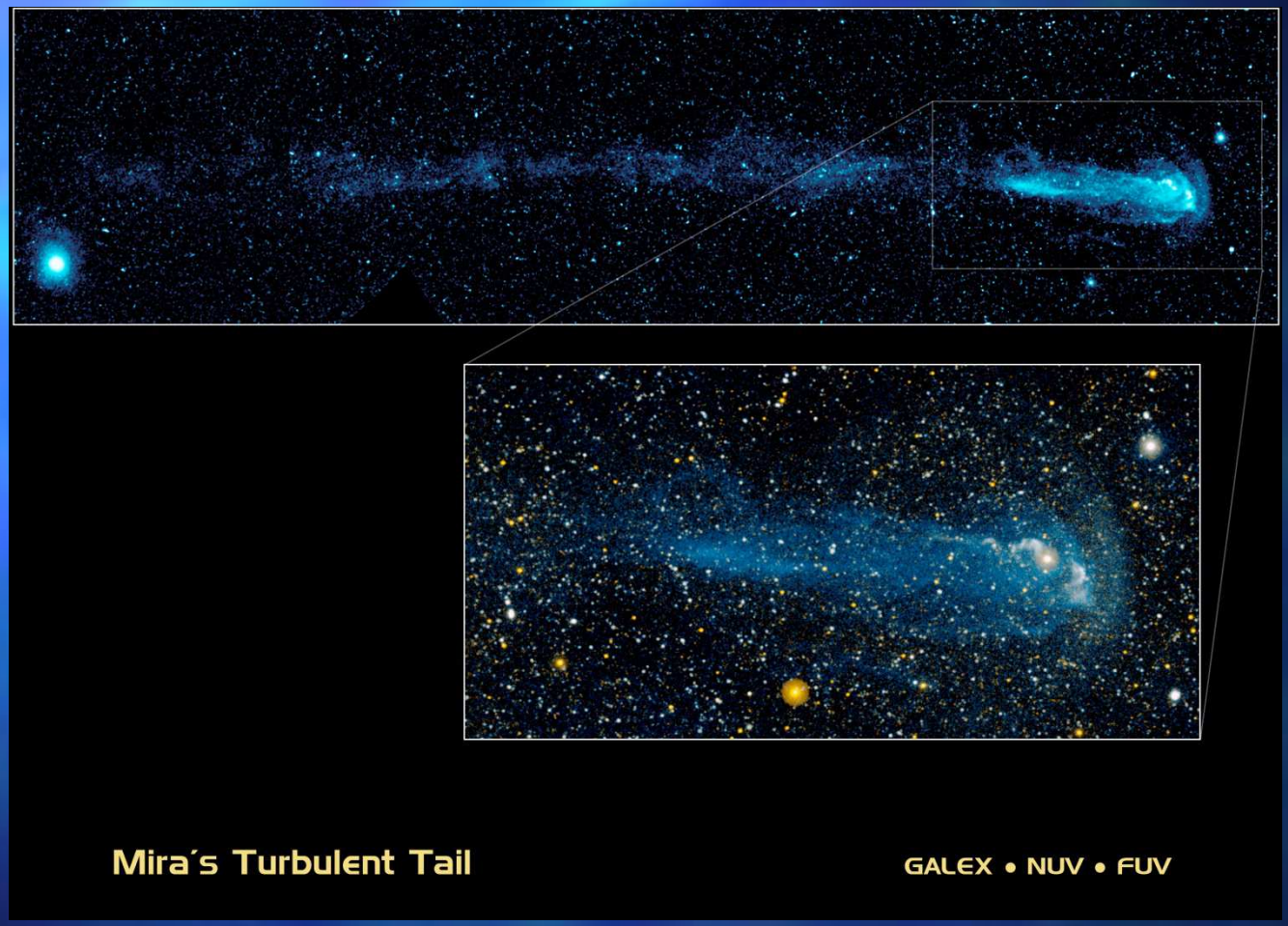
Kulehopen Omega Centauri



Mange massive stjerner lyser sterkest i UV. Dette er både gamle og unge stjerner og viser at kulehopen sannsynligvis er rester av en dverggalakse.

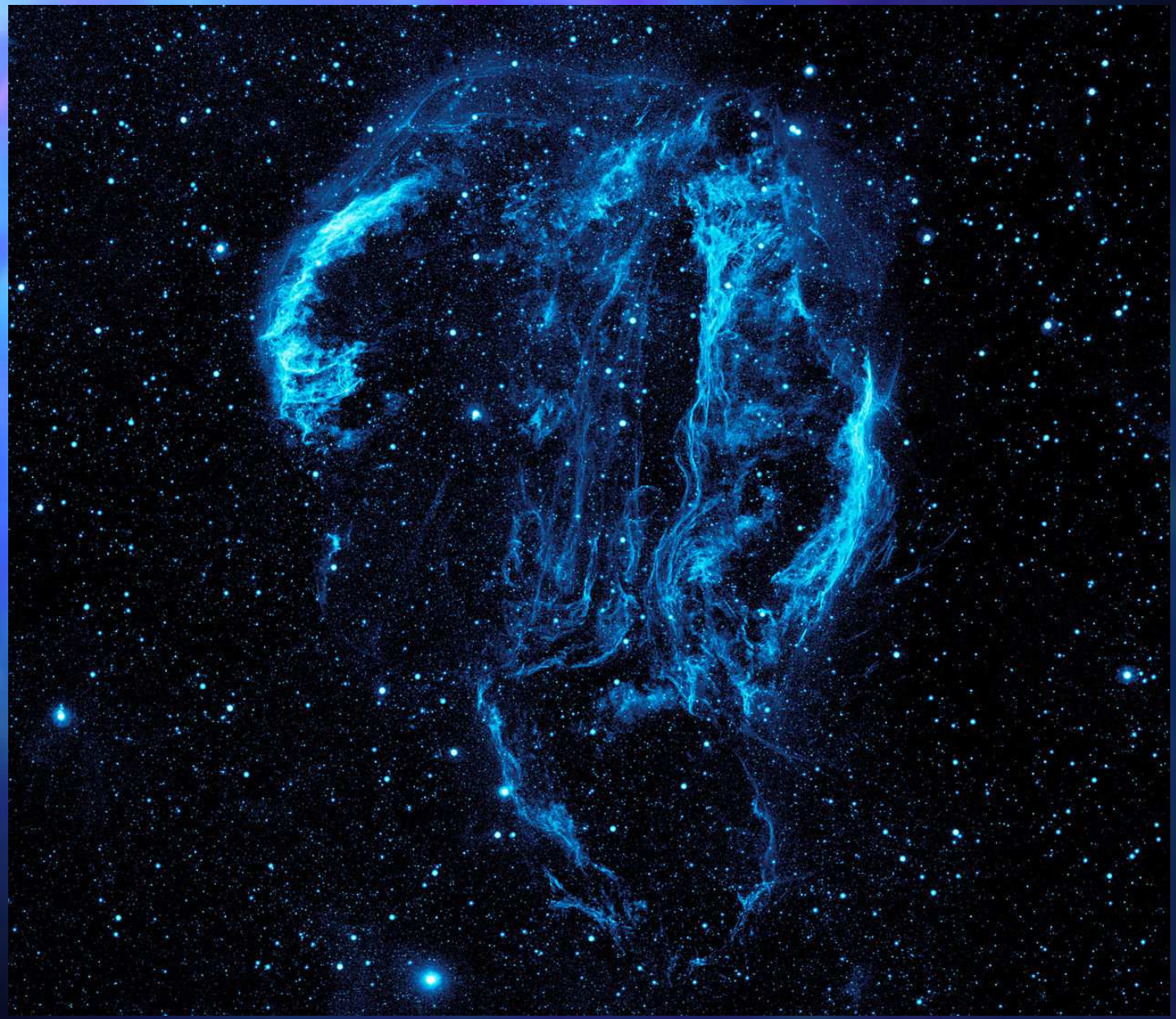
Observasjoner i ultrafiolett

Omicron Ceti - Mira



Mira sin hale er 13 lysår. Stjernens hastighet er 130 km/s. Mira mister omtrent 1 jordmasse pr. 10 år.

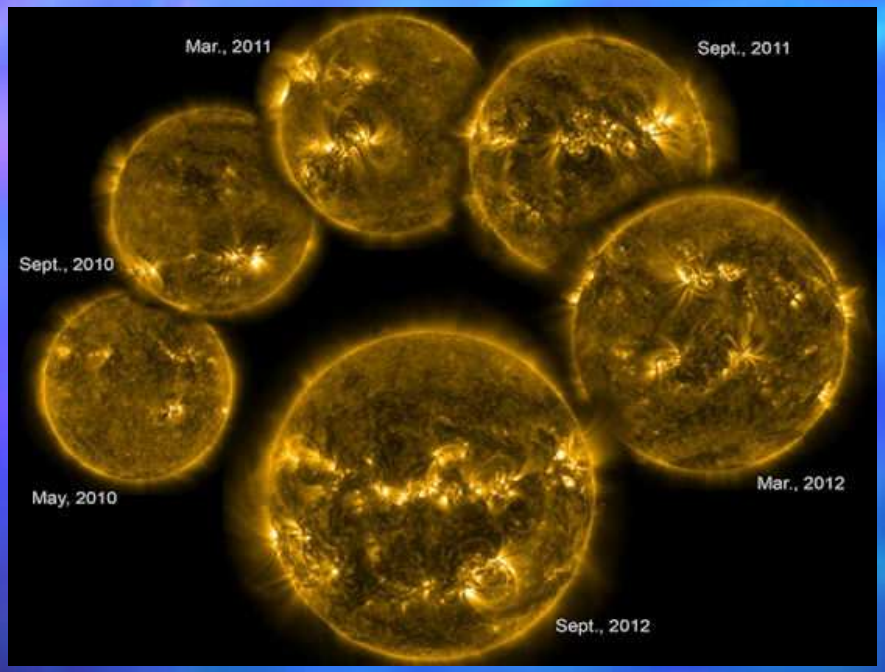
Observasjoner i ultrafiolett



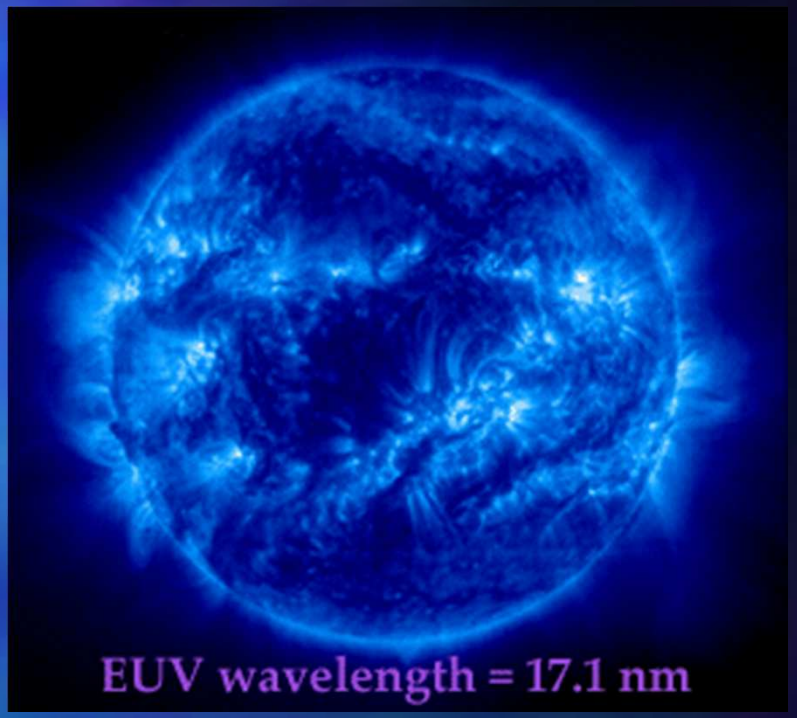
Slørtåken (NGC 6960-6992) i Cygnus - supernovarest

Observasjoner i ultrafiolett

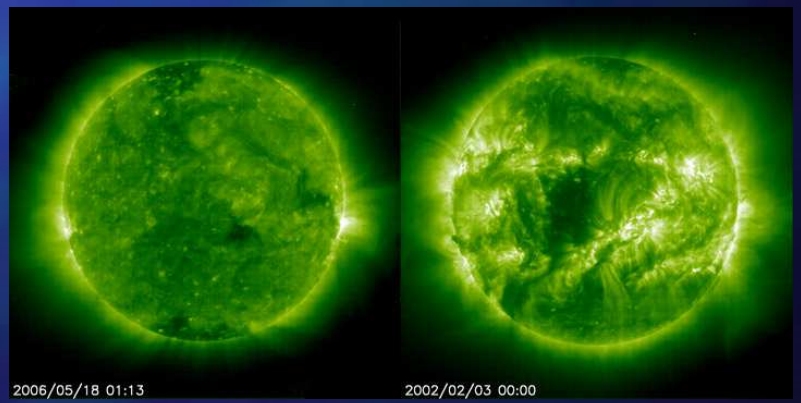
Sola i UV



SDO:
Økende aktivitet på Sola over 2 år



SOHO:
Forskjellige UV bølgelengder



SOHO:
Solminimum og maksimum