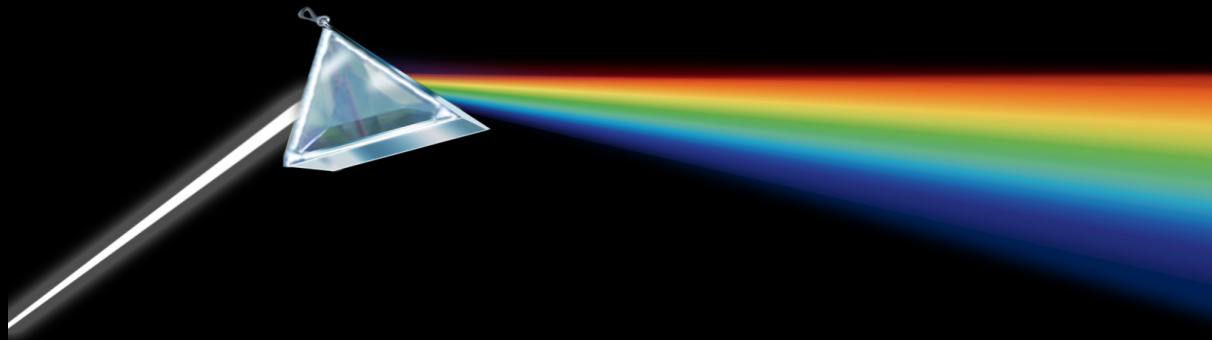


I sette nomi della luce

ovvero

l'Universo elettromagnetico

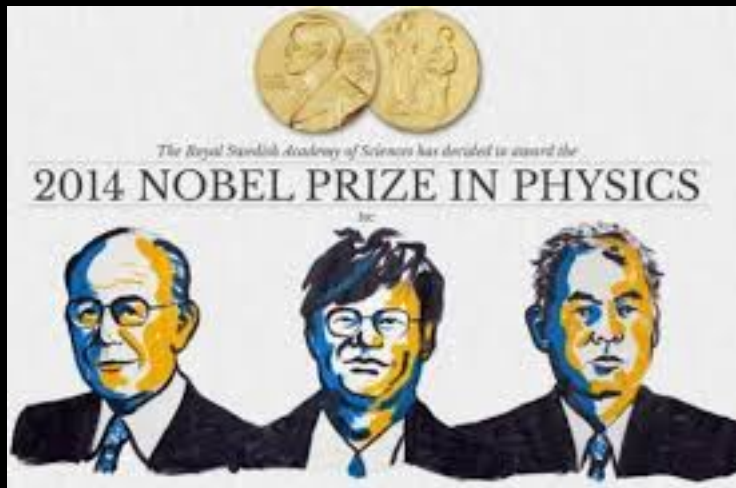


Tommaso Maccacaro

Istituto Nazionale di Astrofisica

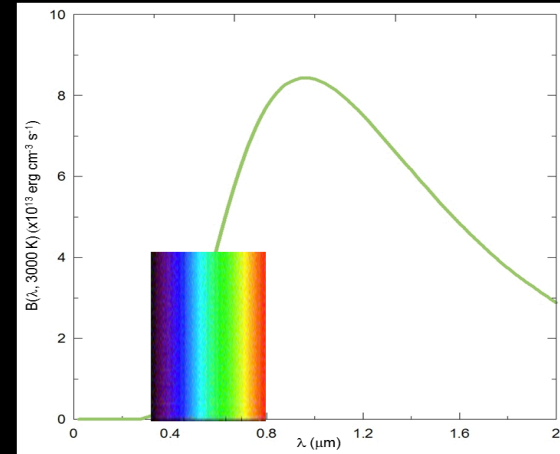


INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015



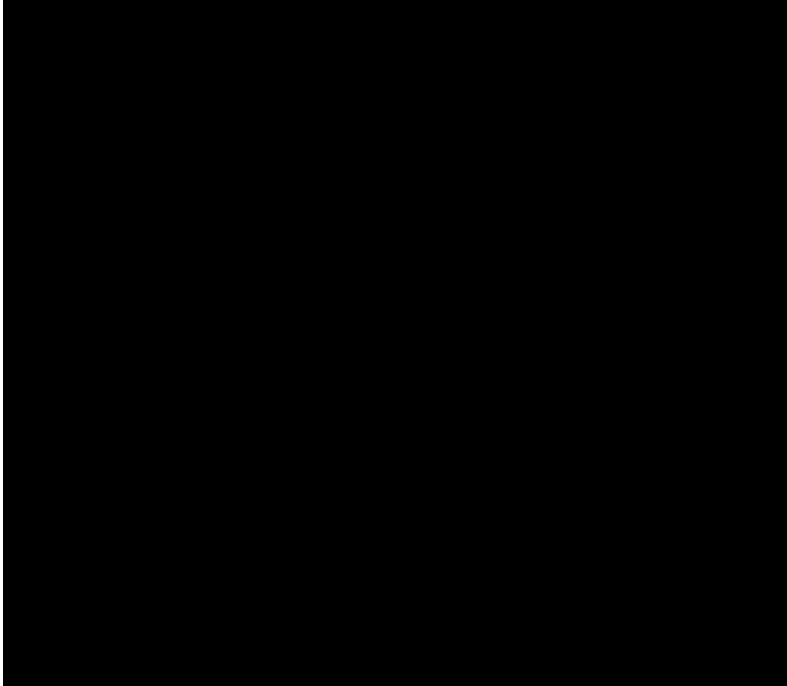
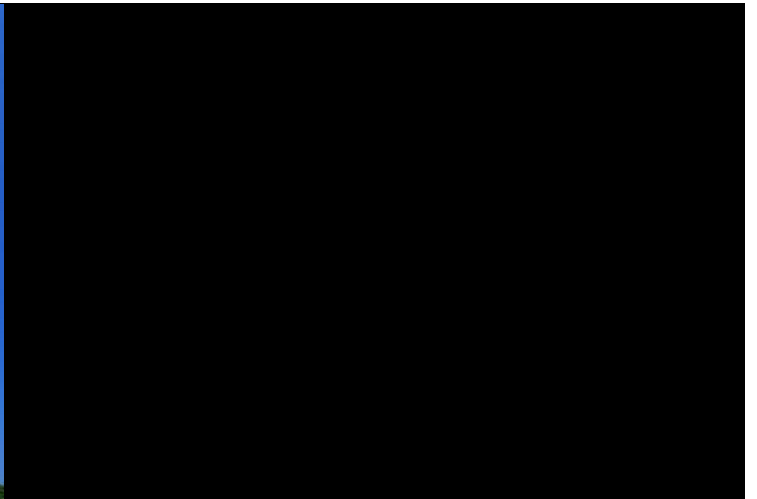
“Red and green LEDs have been around for many years, but the blue was really missing. With three lamps: one red, one green and one blue you get white light. This is something that Isaac Newton showed already in 1671. Thanks to the blue LED, we can now get white light sources which have very high energy efficiency and very long lifetime.

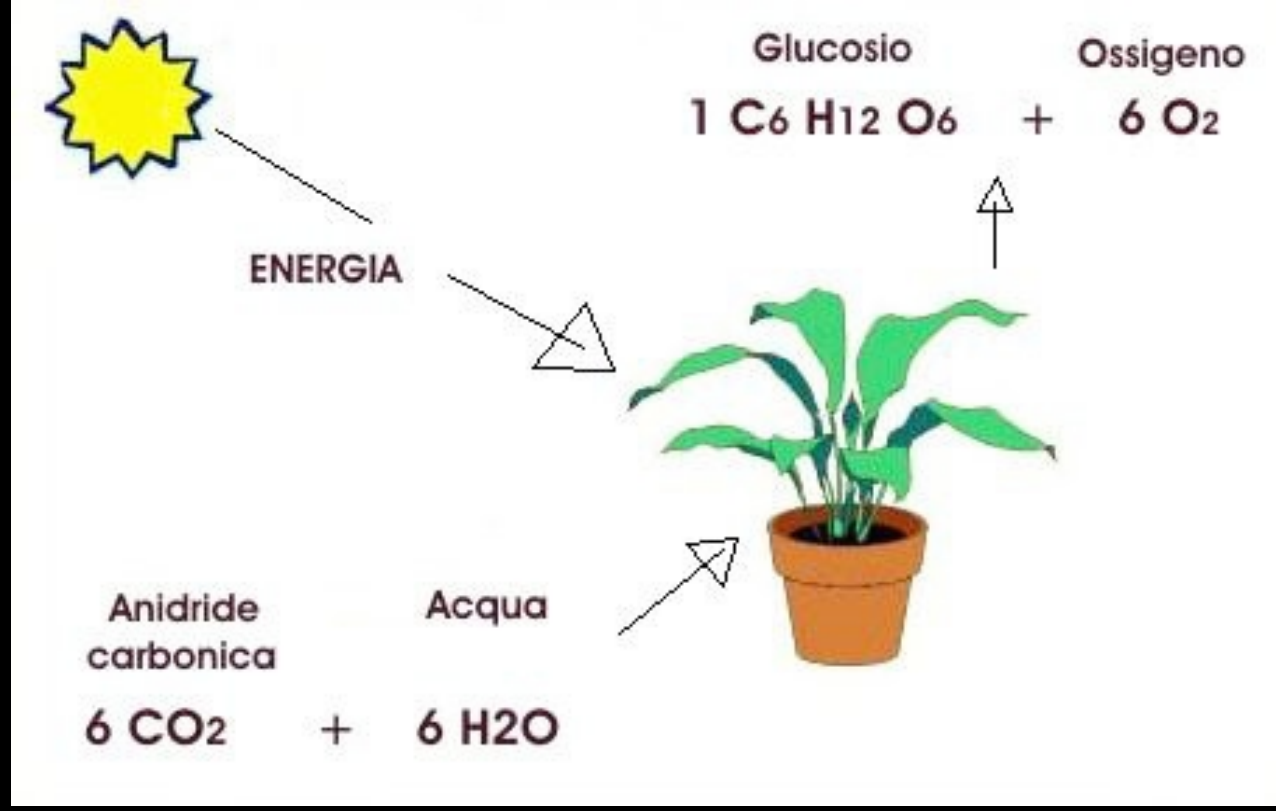




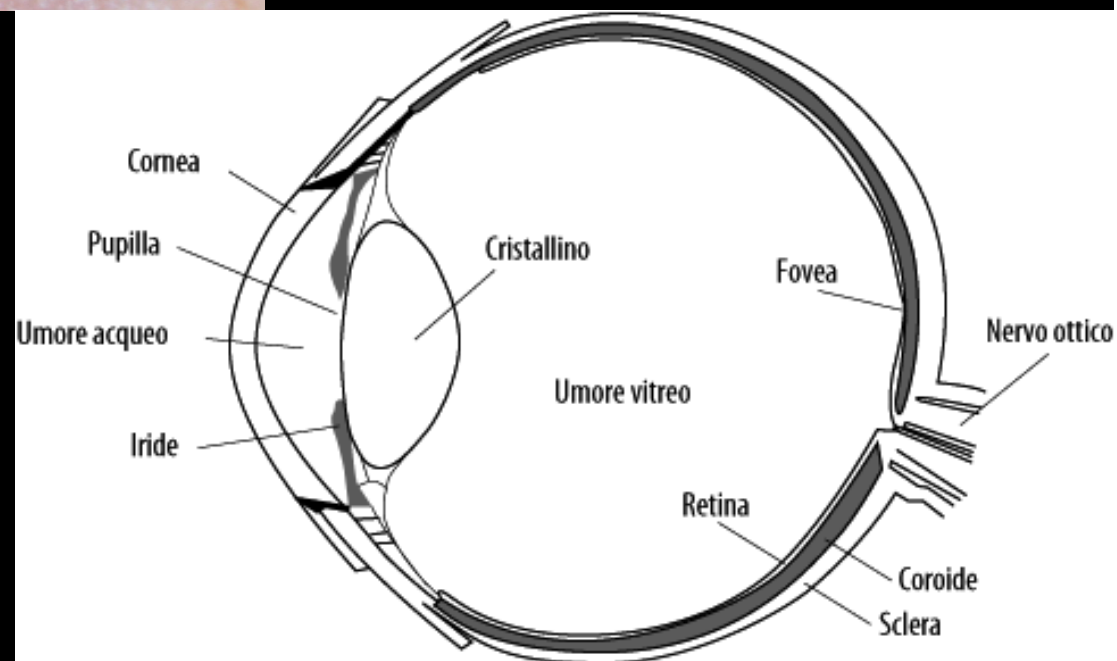
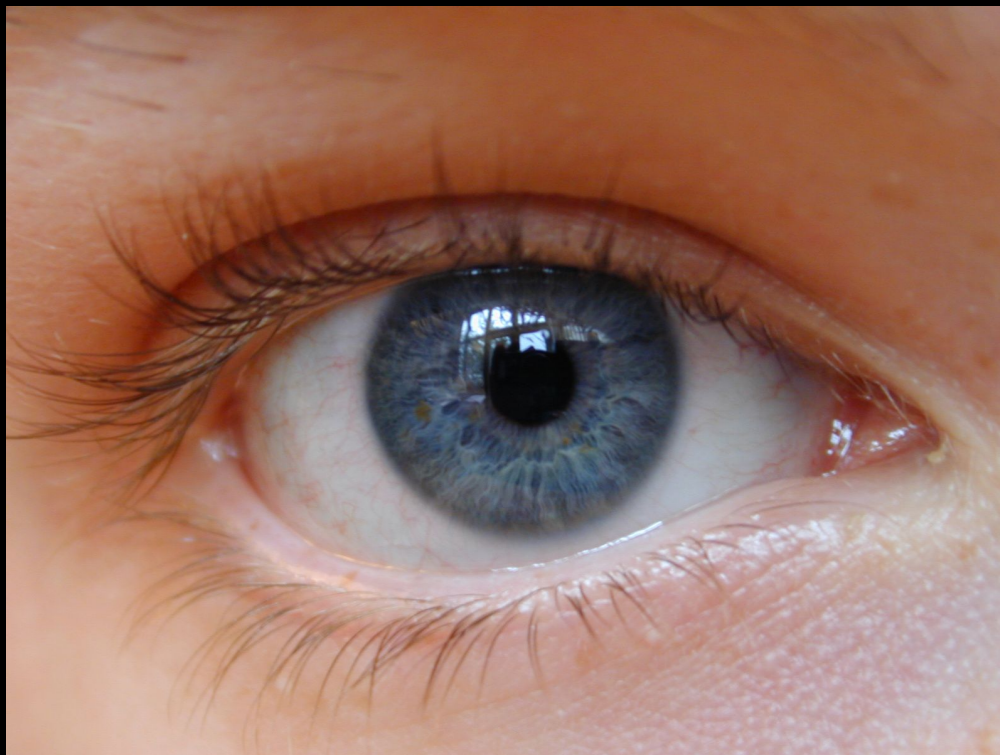
Alla temperatura di 2700 K, il picco di emissione è nel vicino infrarosso, a 1 micron, e solo il 5% circa di quanto emesso lo è sotto forma di luce “visibile”. Da qui la bassa efficienza delle lampadine a incandescenza che dissipano in calore il 95% dell’energia che assorbono.











Ma cosa è la luce?

Abbiamo dovuto aspettare sino alla
seconda metà del 1600 per misurare la
sua velocità e fino alla metà del 1800 per
incominciare a capire la sua natura



Tentativo (fallito) di misurare la
velocità della luce da parte di Galileo



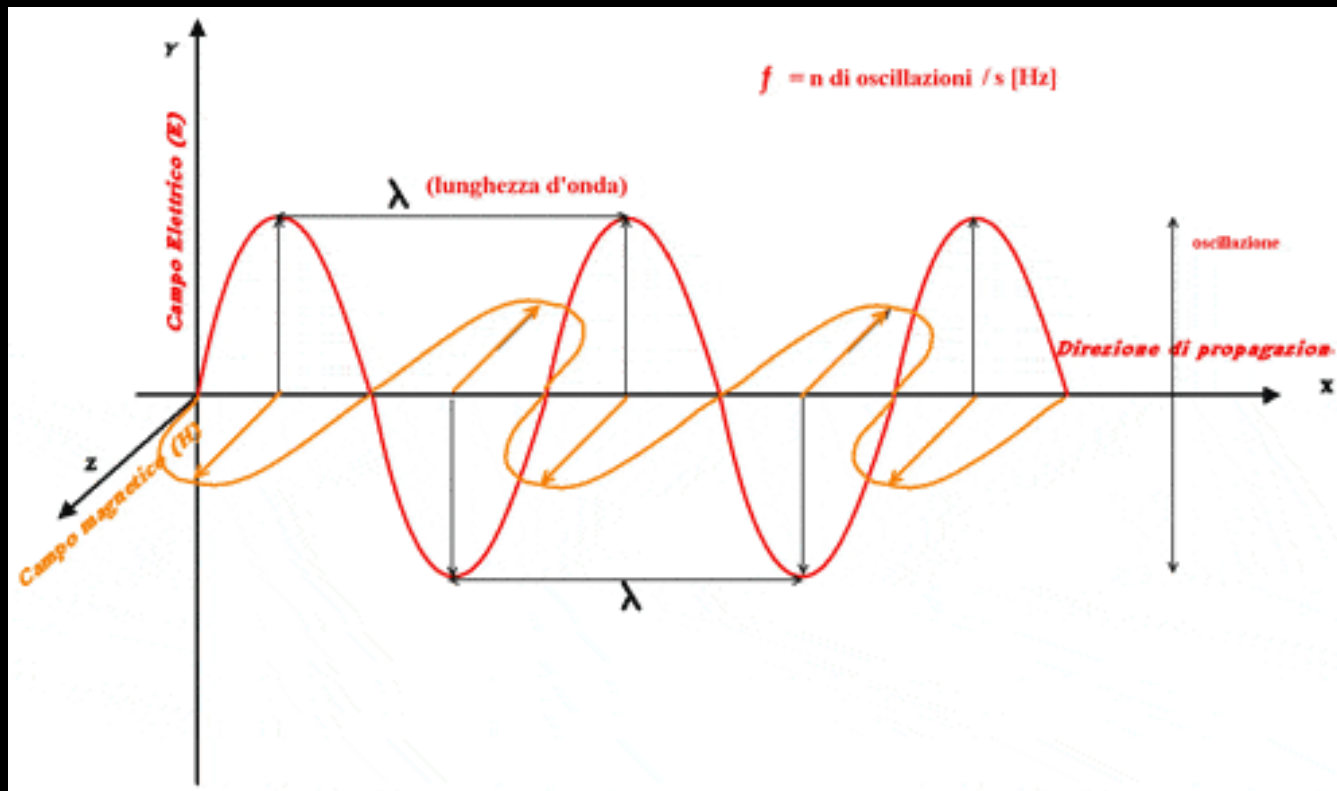
Ci riesce Ole Roemer nel
1675 analizzando i tempi
delle eclissi di Io, il più
interno dei satelliti di Giove



Per quanto riguarda la sua natura, la luce a volte sembra comportarsi come un'onda (Aristotele, Cartesio, Huygens) e a volte come un flusso di particelle (Democrito, Gassendi, Newton)

Maxwell ricavò la descrizione delle onde elettromagnetiche (1864), la loro velocità nel vuoto - sempre costante e uguale a quella misurata per la luce - e rese evidente che luce visibile, radiazione ultravioletta e radiazione infrarossa erano concettualmente la stessa cosa – onde elettromagnetiche appunto – che differivano solamente per il valore della loro frequenza

Onda elettromagnetica: propagazione nello spazio di una oscillazione in fase del campo elettrico e del campo magnetico. L'oscillazione avviene nel piano ortogonale alla direzione di propagazione.



Meno di cinquant'anni dopo, Einstein rimise tutto in discussione con la sua spiegazione dell'effetto fotoelettrico e l'introduzione del concetto di “fotone”, il quanto di luce. Oggi, sappiamo che la luce mostra proprietà che sono meglio comprese ricorrendo ora a un comportamento corpuscolare, ora a uno ondulatorio

Il comportamento della radiazione elettromagnetica è meglio descritto ricorrendo alle proprietà delle “onde classiche” alle basse frequenze e delle “particelle corpuscolari” alle alte frequenze

La luce è sia onda che particella

Energia trasportata da un'onda e.m.:

$$E = h\nu = hc / \lambda$$

ν è la frequenza e λ è la lunghezza d'onda

c = velocità della luce nel vuoto

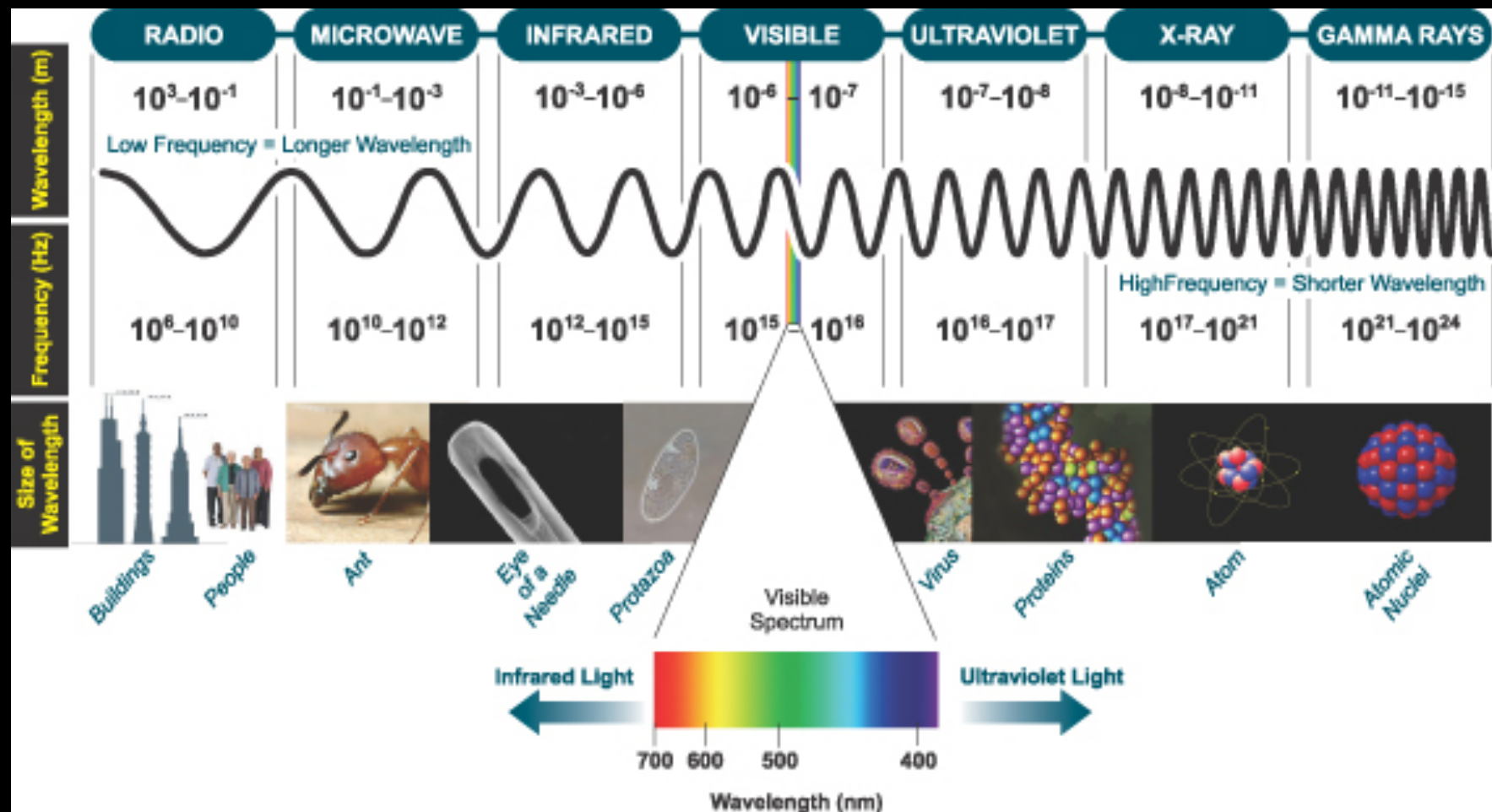
h = costante di Planck

La prima estensione dello spettro elettromagnetico avvenne
con la scoperta della radiazione **infrarossa** da parte di
William Herschel (nel 1800)

L'anno seguente Johan W Ritter scoprì l'esistenza della
radiazione **ultravioletta**

Le onde **radio** previste da Maxwell furono prodotte in
laboratorio da Hertz nel 1886

Successivamente furono scoperti i raggi X (Rontgen, 1895)
e i raggi gamma (Villard, 1900)





La radiazione elettromagnetica è la principale fonte di informazione di quanto avviene nell'Universo (l'unica sino a circa un secolo fa) dove vengono prodotte, attraverso processi fisici diversi, onde di tutte le lunghezze d'onda possibili, dai più energetici raggi gamma alle onde radio chilometriche

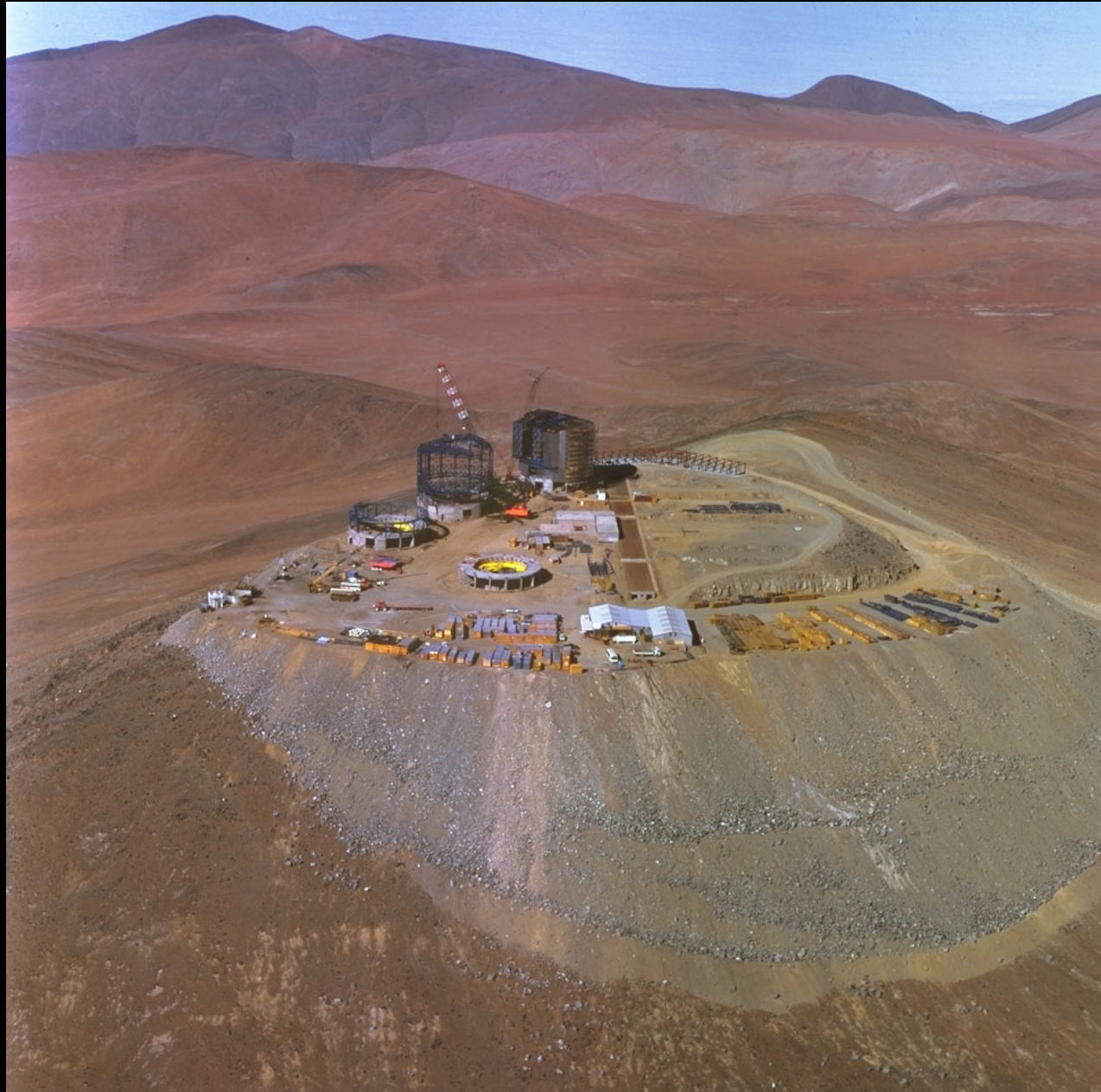
Il “visibile” è stata l'unica radiazione nota sino al 1800 e l'unica usata in astronomia sino al 1932



A occhio nudo fino al 1609; con integrazione temporale dalla metà del 1800



I due telescopi Keck di 10m a Mauna Kea (Hawaii)

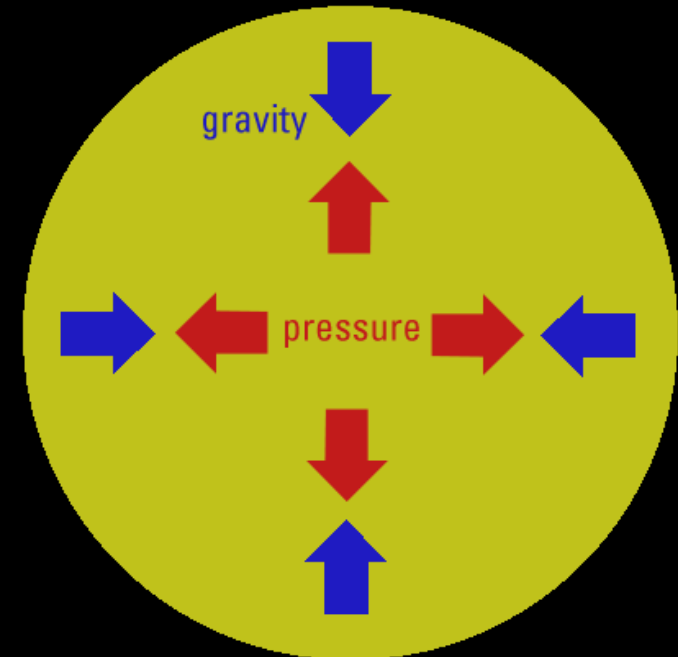


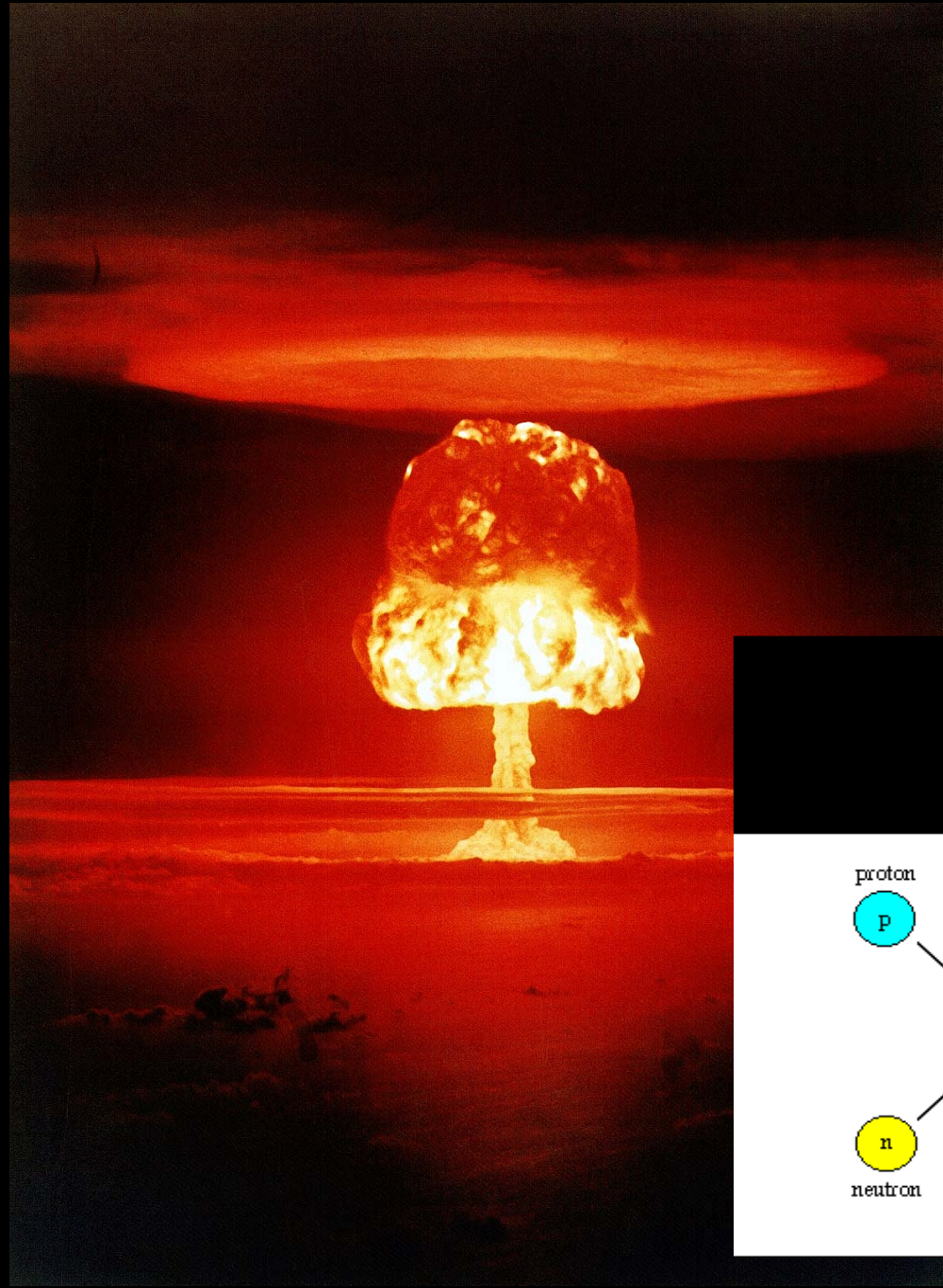
Costruzione dei VLT a Cerro Paranal (Cile)



Il Telescopio Spaziale Hubble

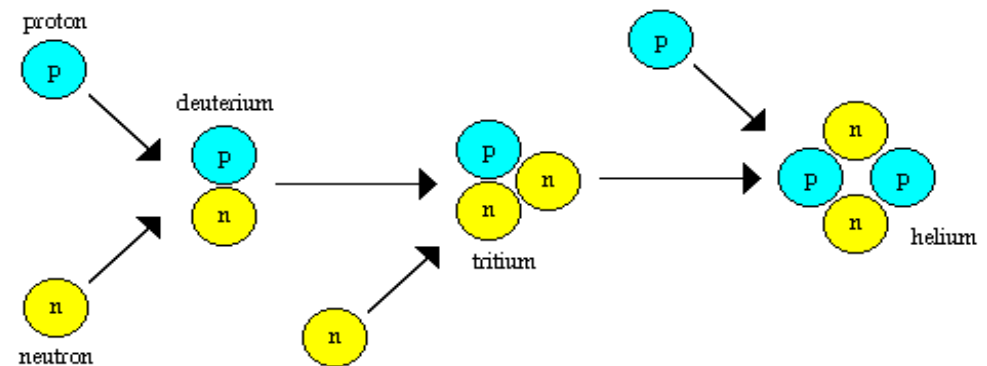
Solo nel secolo scorso (Eddington, 1920) si sono
capiti i meccanismi che fanno brillare le stelle





Nuclei di idrogeno
(protoni) e neutroni si
fondono e formano elio.

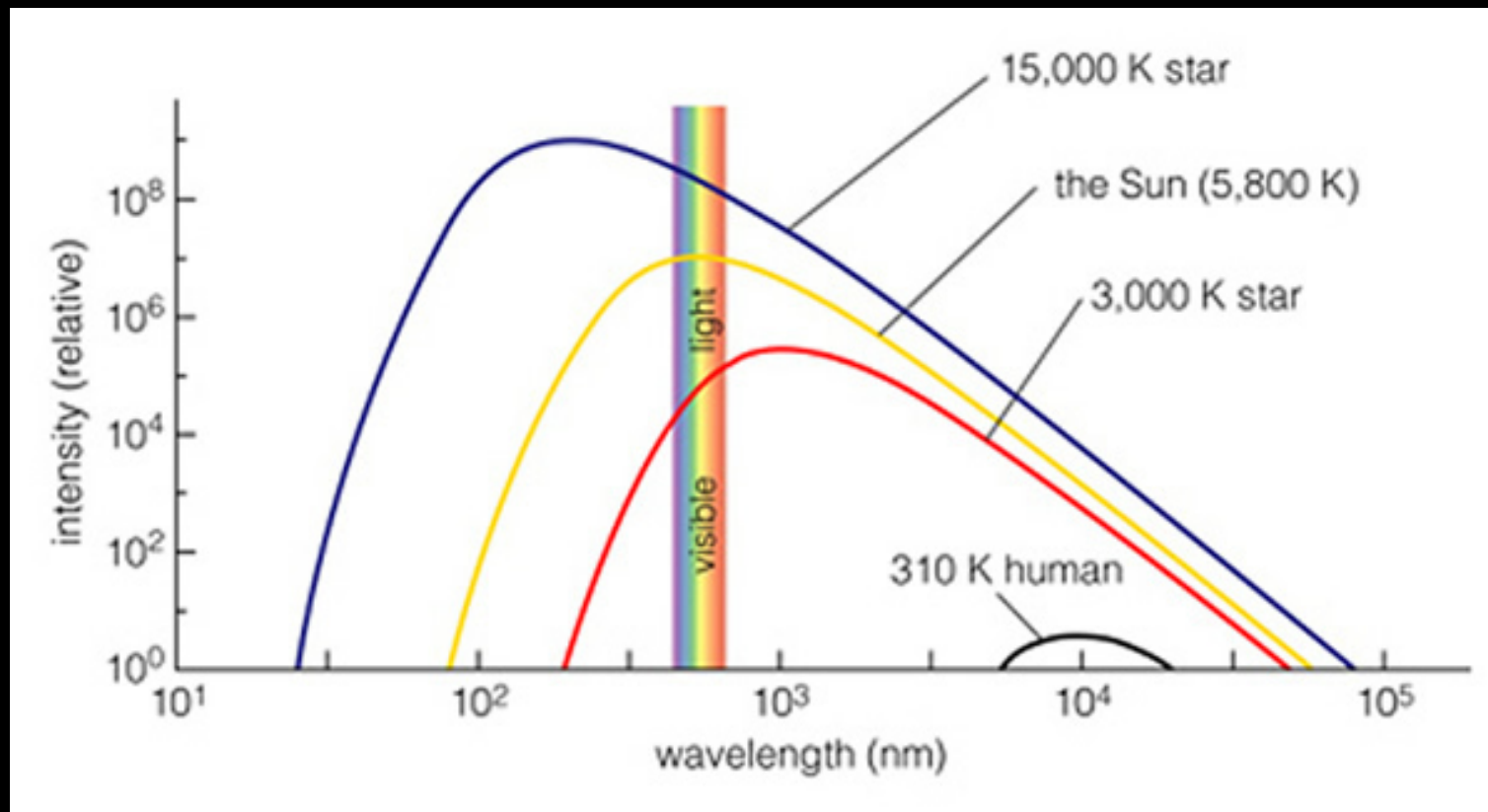
Il processo libera energia:
fusione nucleare



Qualunque corpo a temperatura T è sorgente di radiazione elettromagnetica dovuta al moto di agitazione termica degli atomi che lo compongono

Con una temperatura superficiale di alcune migliaia di gradi, le stelle emettono il grosso della loro emissione elettromagnetica a lunghezze d'onda comprese tra l'ultravioletto e l'infrarosso

Spettro di corpo nero (spettro continuo)



Con una temperatura di circa 37 gradi $^{\circ}\text{C}$ (310 Kelvin) noi emettiamo quindi onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda centrata su 10 micron (infrarosso).

Lunghezza d'onda (in mm) = b/T (in Kelvin)

dove T è la temperatura e b è una costante di proporzionalità. Se T è espressa in gradi Kelvin e b ha il valore di 2,9 la lunghezza d'onda del picco massimo di energia risulta espressa in millimetri

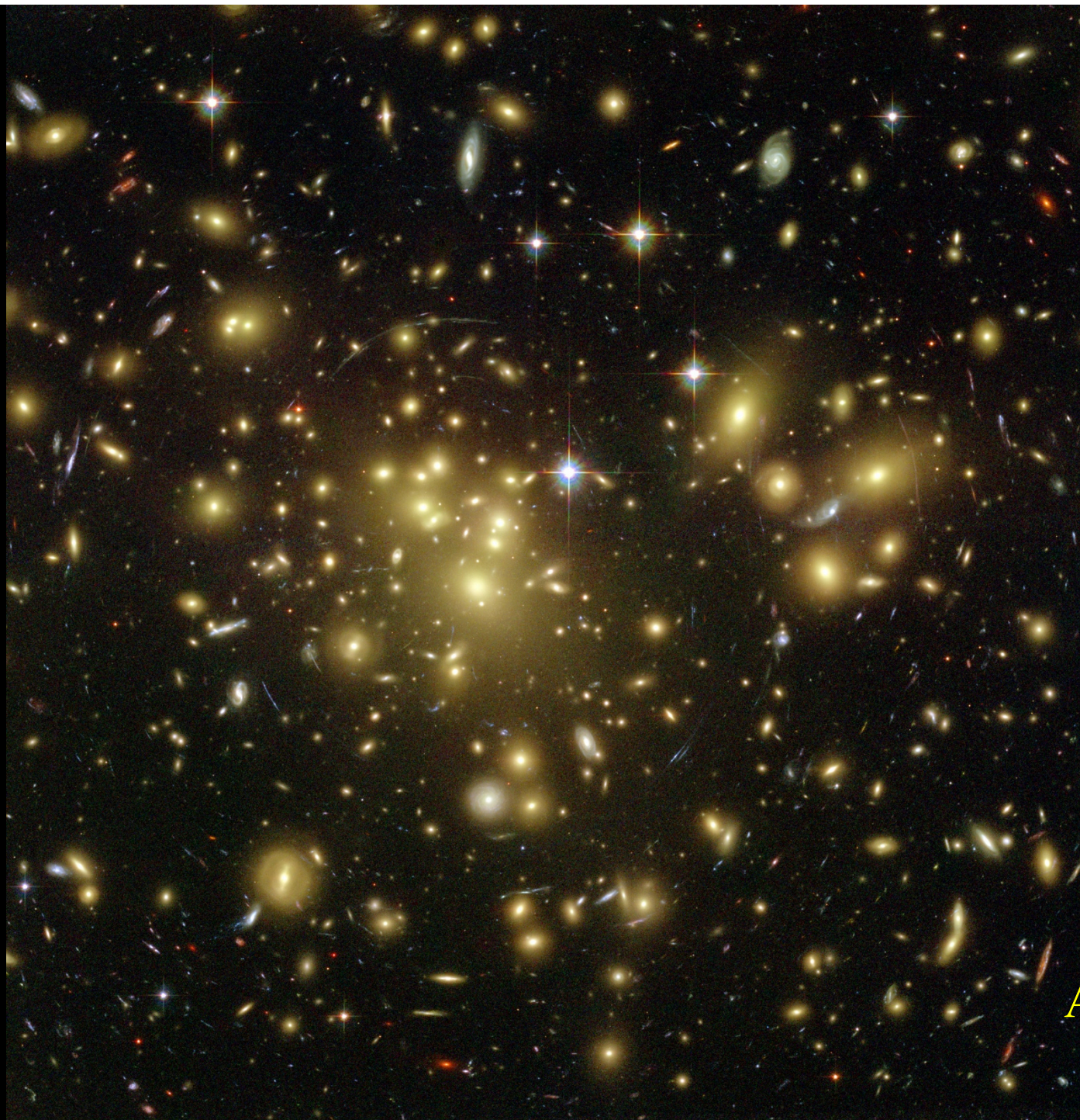
Più caldo è un oggetto, più corta è la lunghezza d'onda a cui emetterà il grosso della radiazione. Con una temperatura superficiale di circa 5500 K, il picco di emissione del Sole è a 0,53 micron (nel giallo).



NGC 1365



M 95

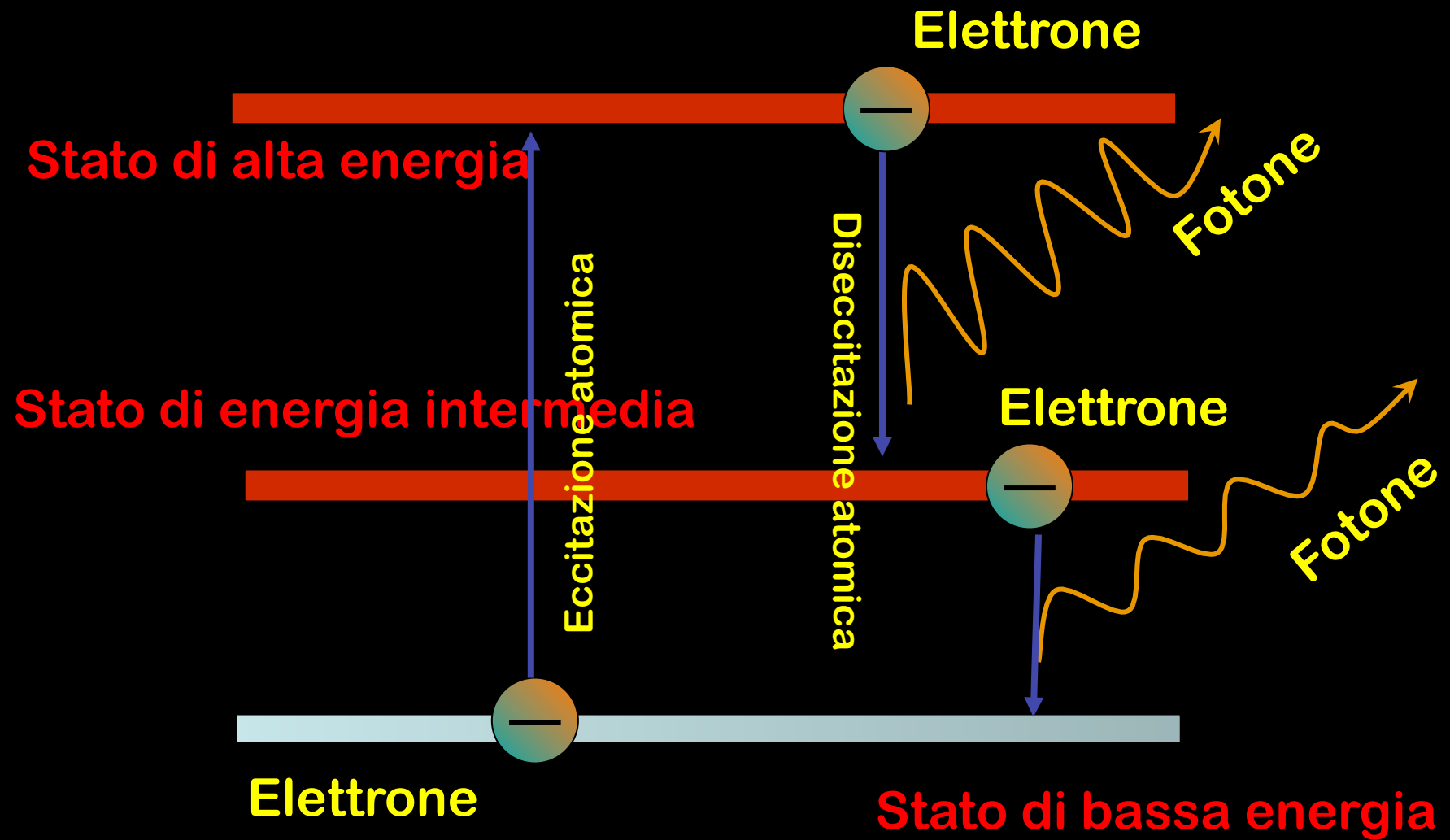


A 1689

Hubble Ultra Deep Field

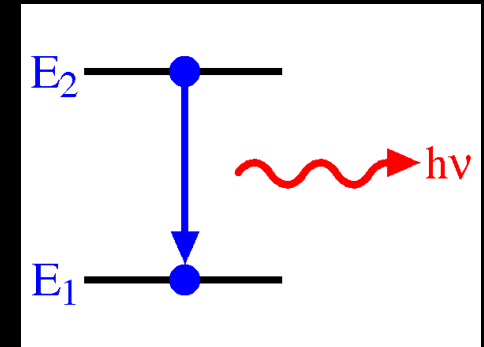


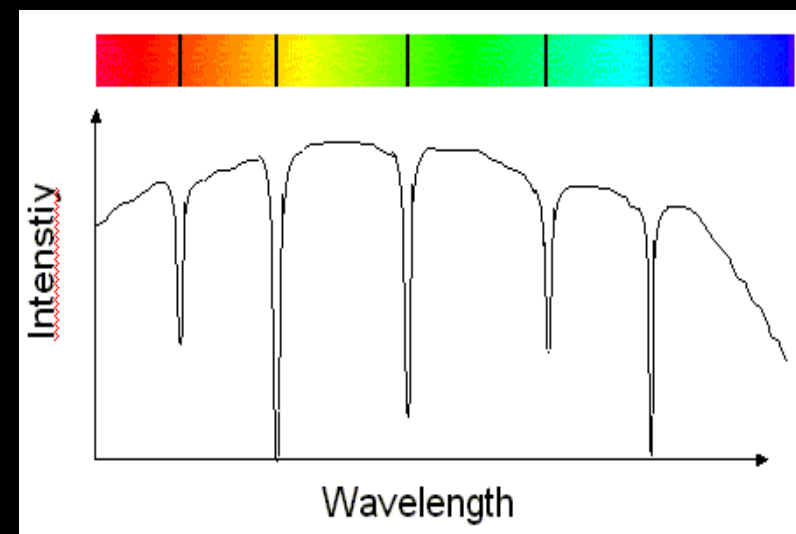
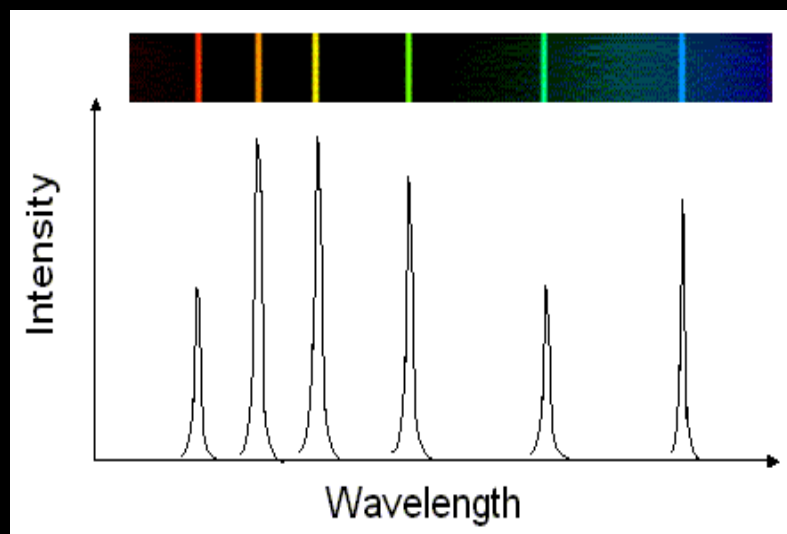
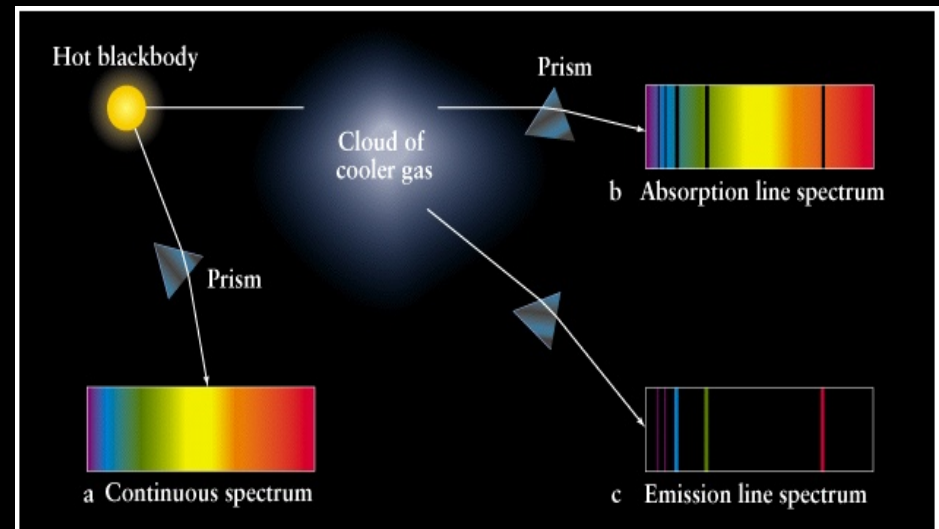
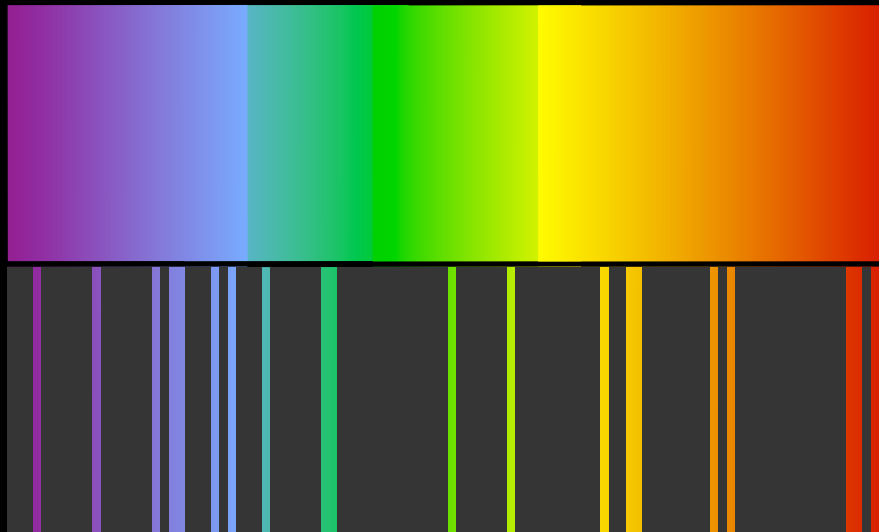
Astronomia che utilizza la luce “visibile”
è soprattutto studio di processi termici
con temperature dell'ordine di migliaia di gradi



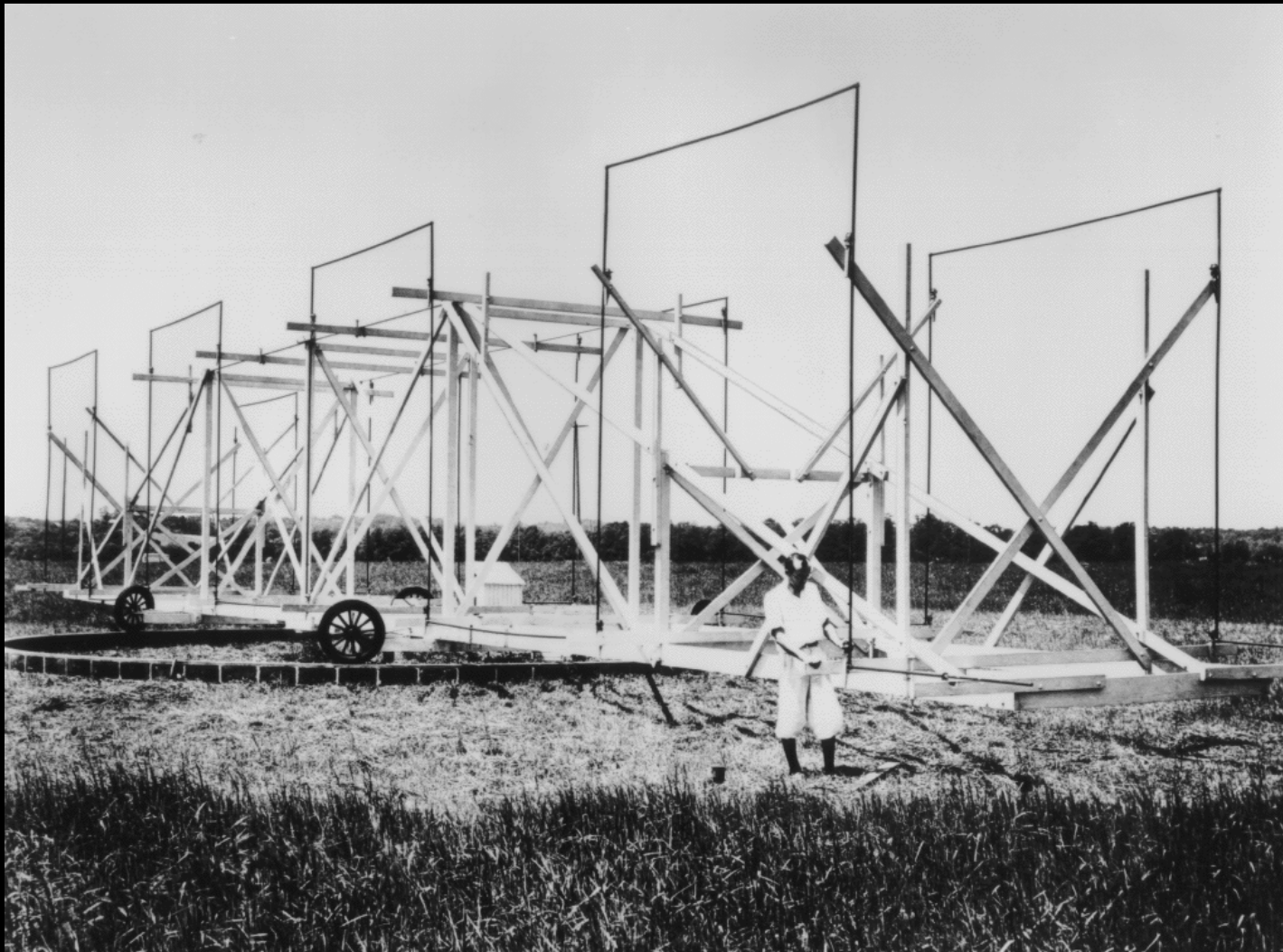


Aurore boreali: esempio di emissione in riga prodotta dall'eccitazione di atomi e ioni della ionosfera da parte di particelle cariche

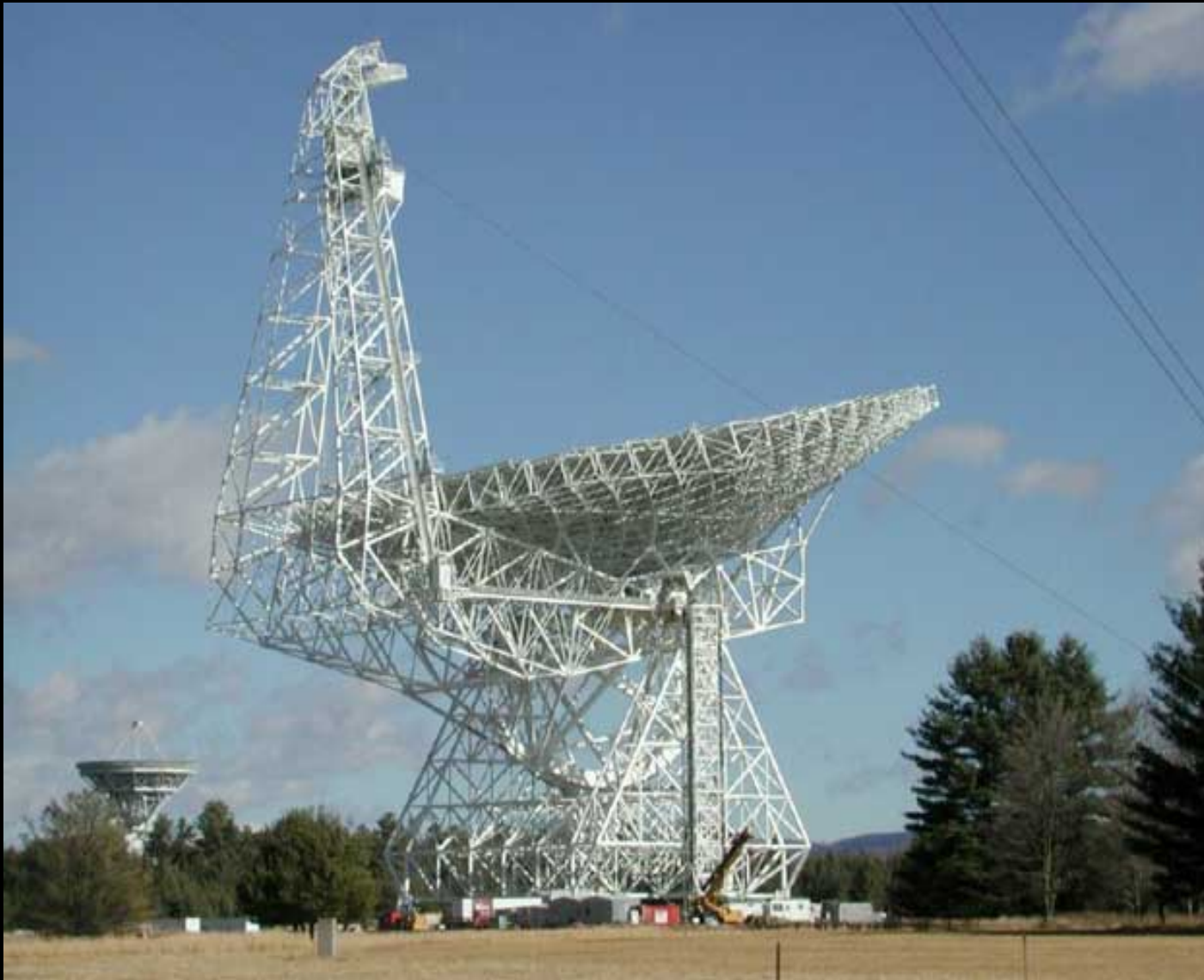




Per le osservazioni astronomiche, la prima
“finestra” (dopo il visibile) ad aprirsi fu
quella radio



Il radiotelescopio di Karl Jansky - 1931



Il radiotelescopio di Green Bank (Virginia)



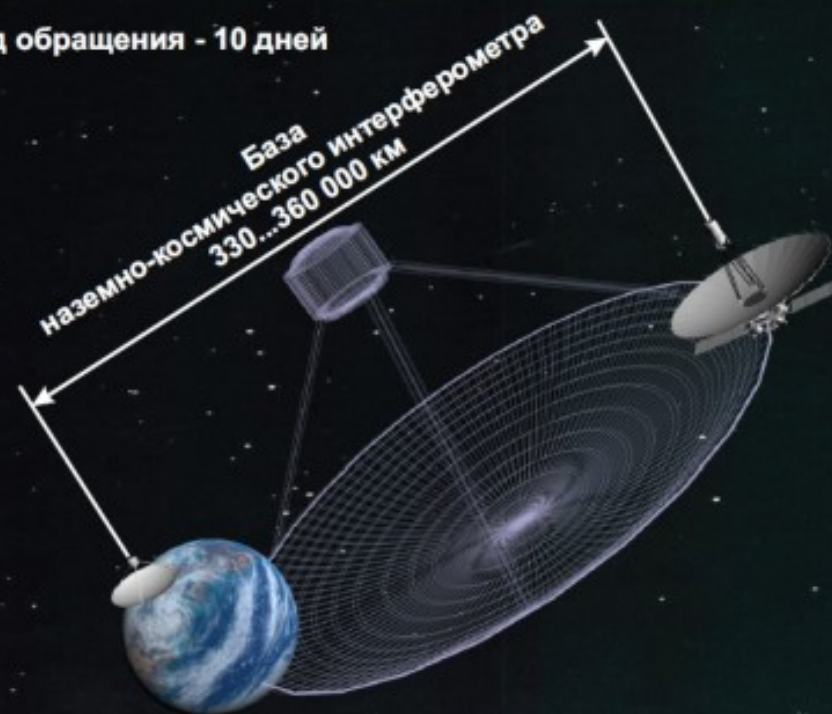
Il radiotelescopio di Arecibo (Portorico)



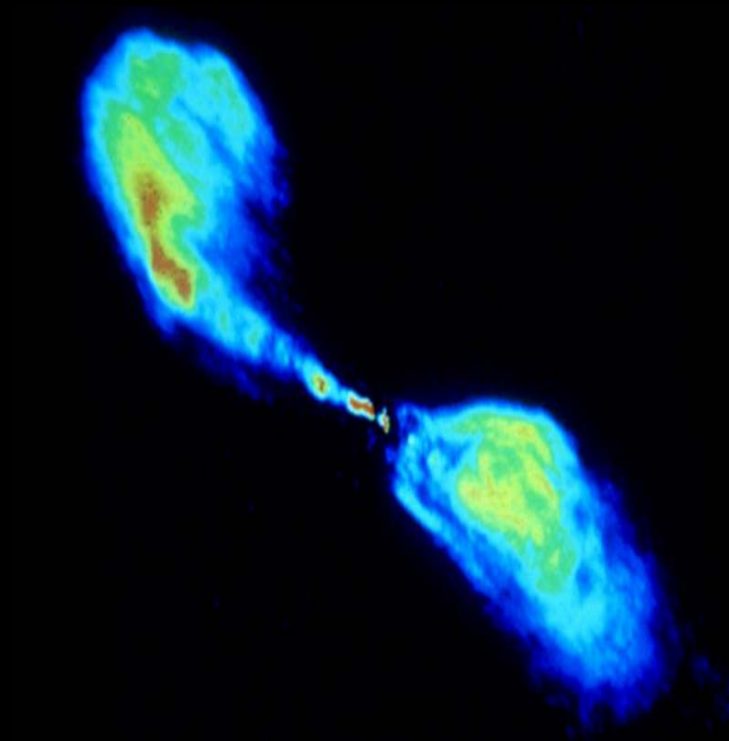
Il Very Large Array (New Mexico)

Radioastron

Период обращения - 10 дней



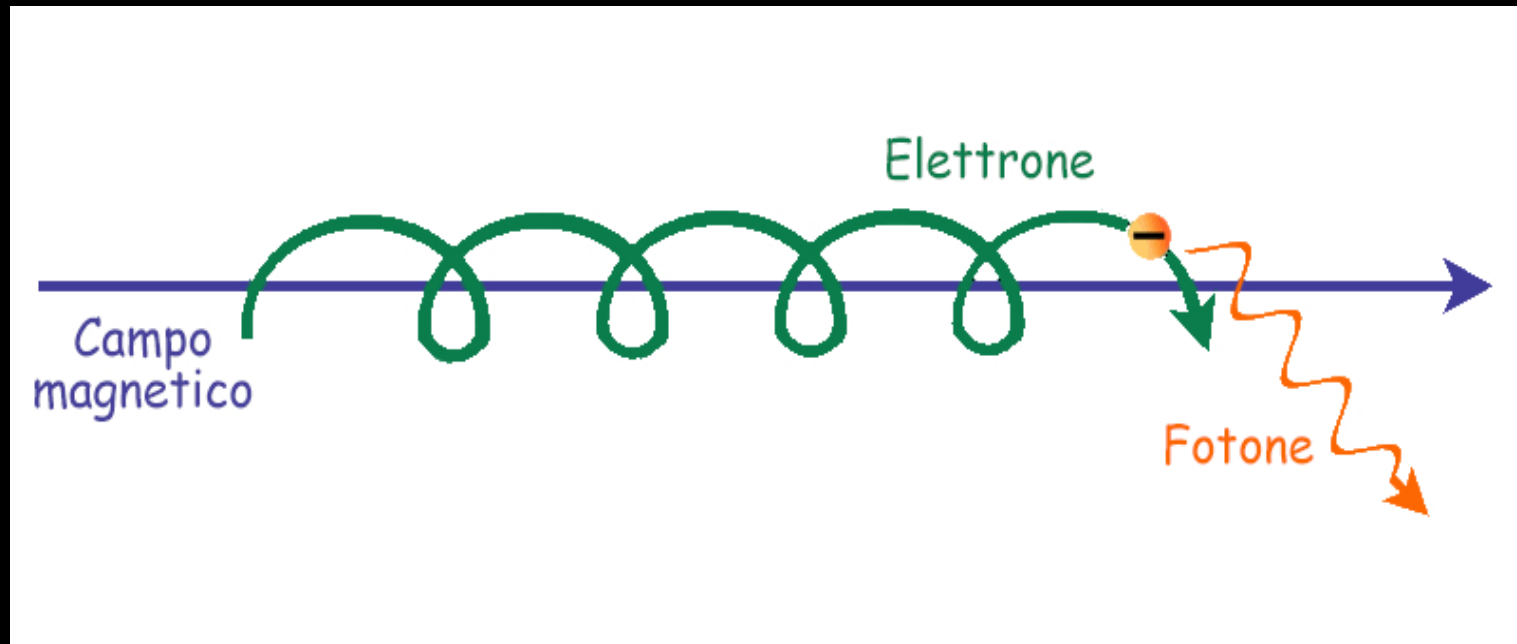




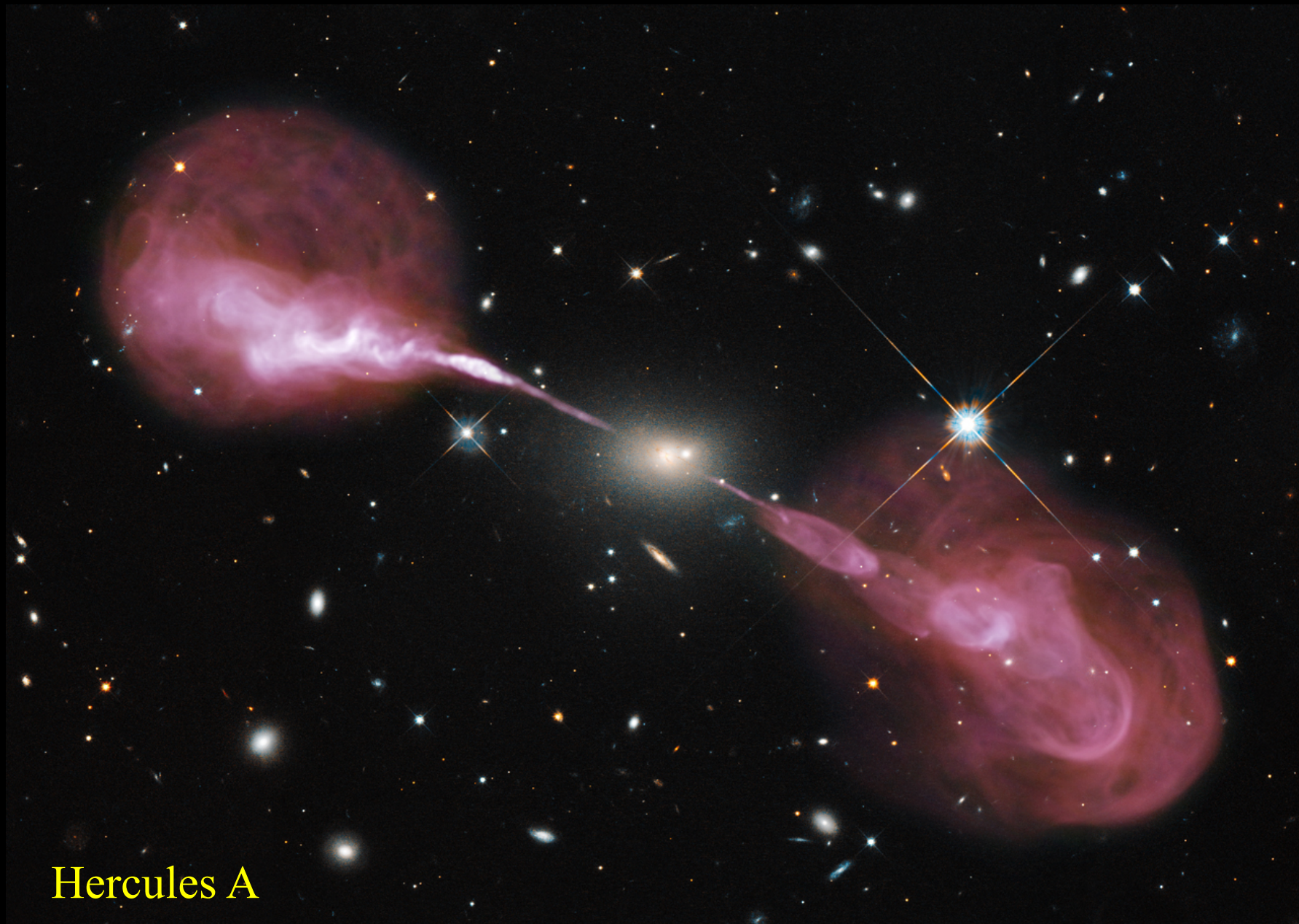
Centaurus A
(radio)



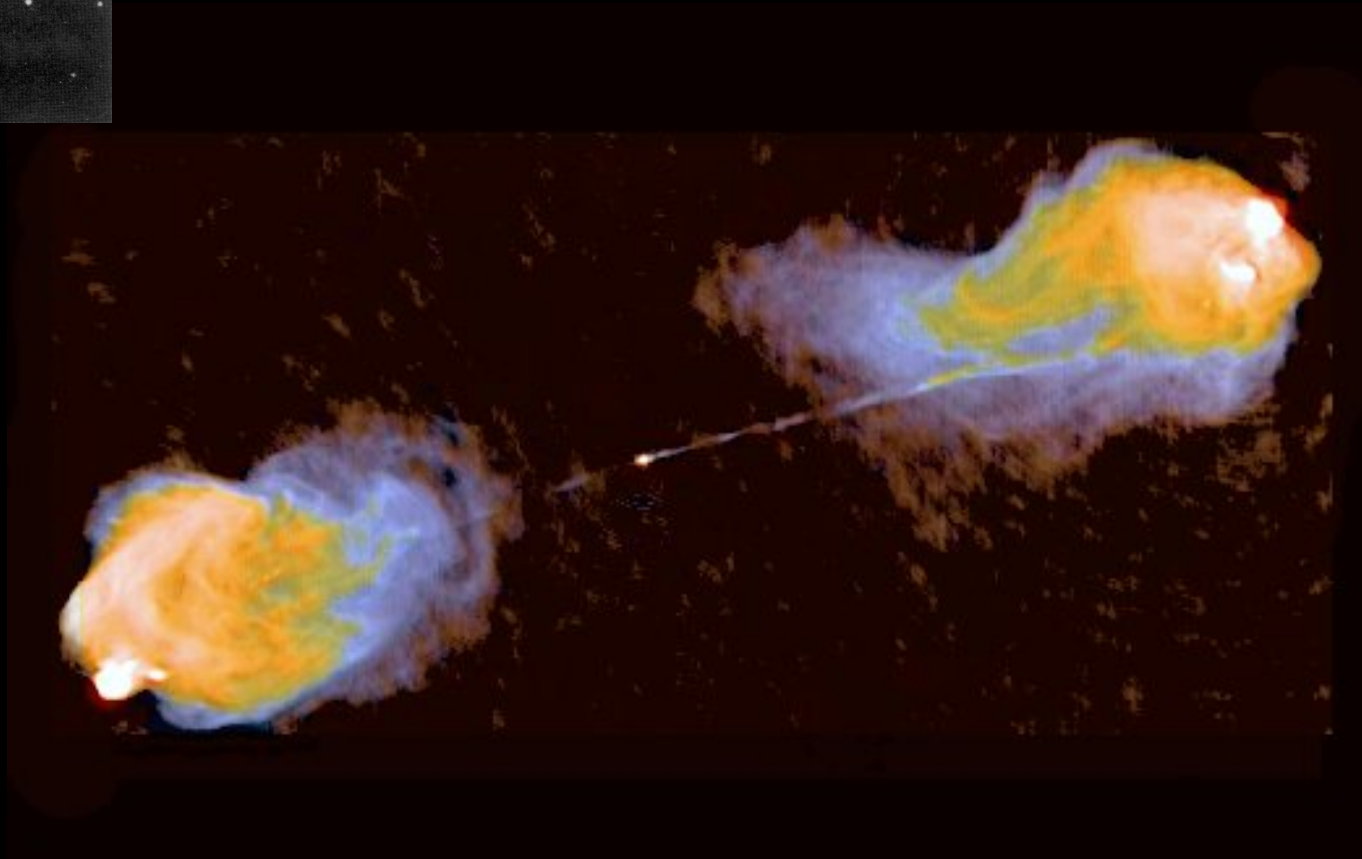
Radiazione di sincrotrone



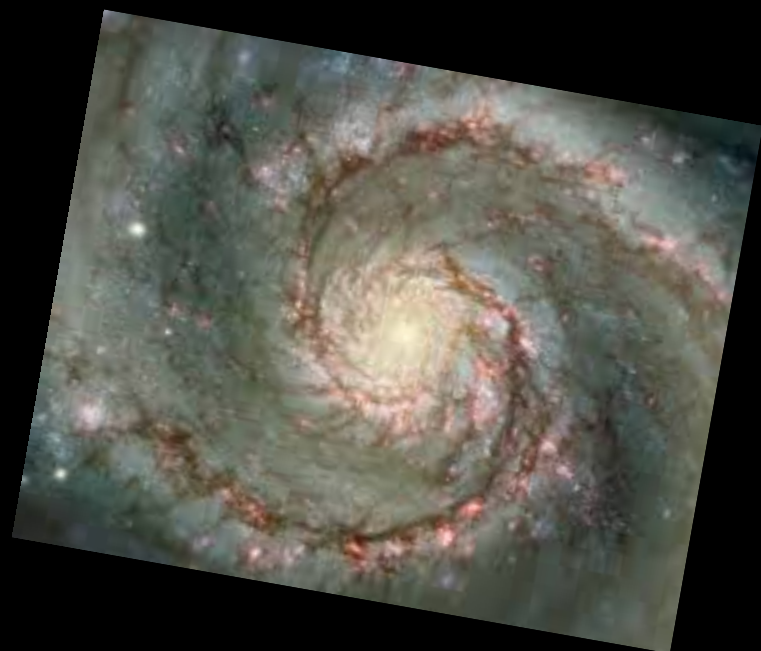
Elettroni di alta energia e campi magnetici.
Esempi: i resti di supernova e le pulsar, i jet
emessi dai nuclei delle galassie attive, i lobi delle
radiogalassie



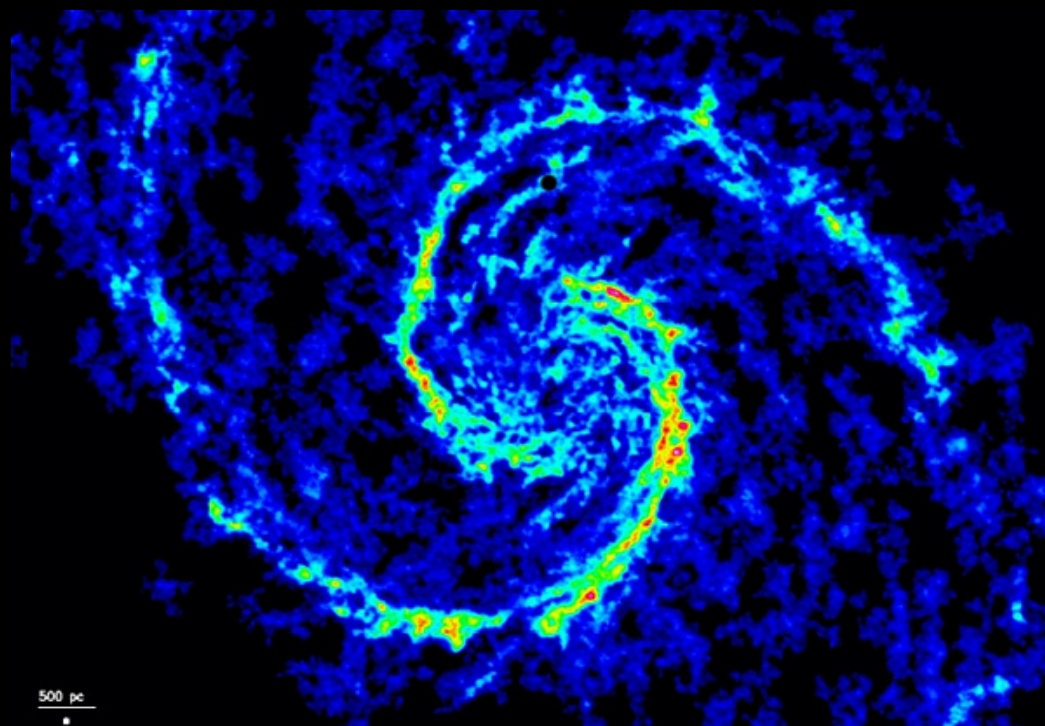
Hercules A

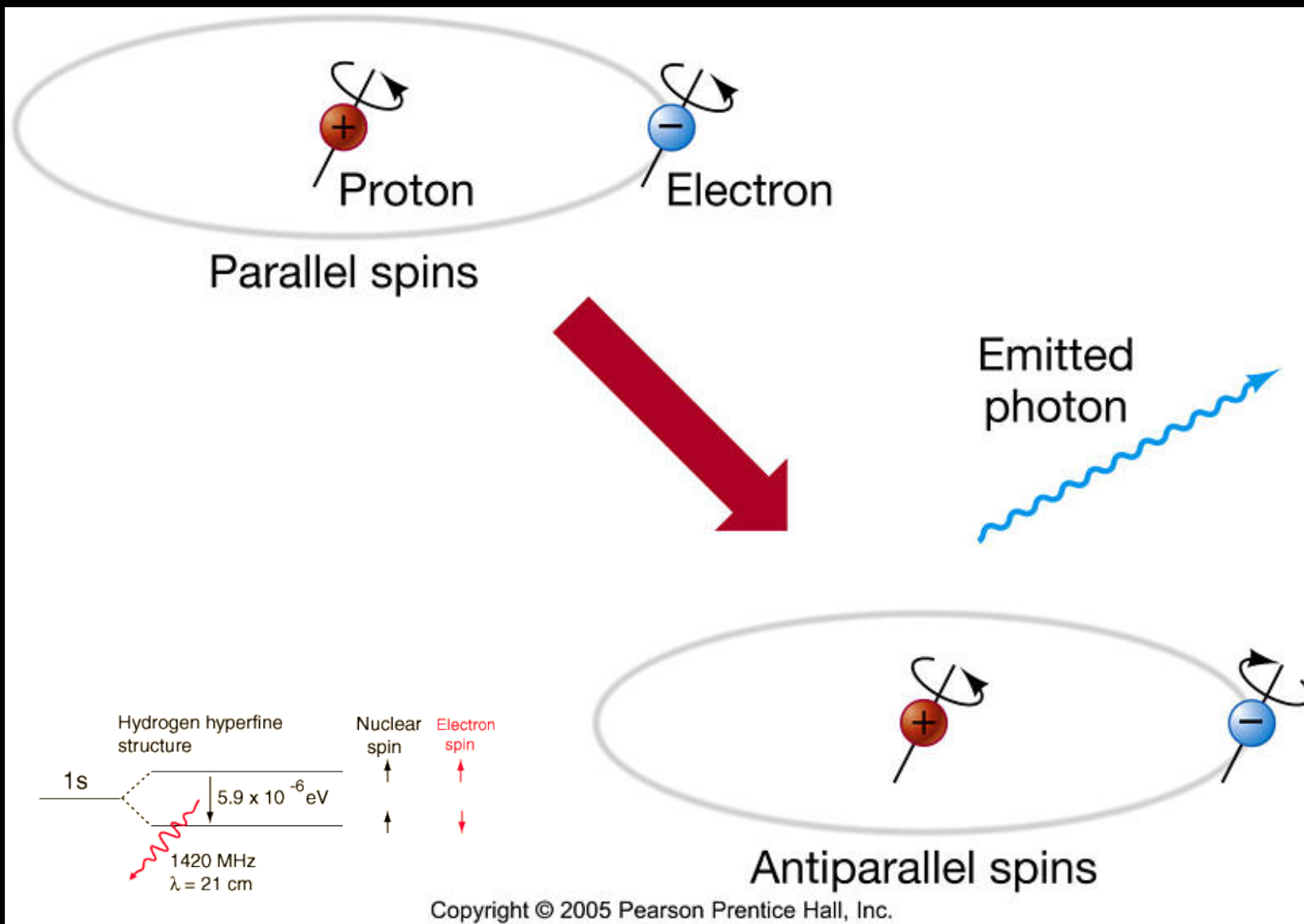


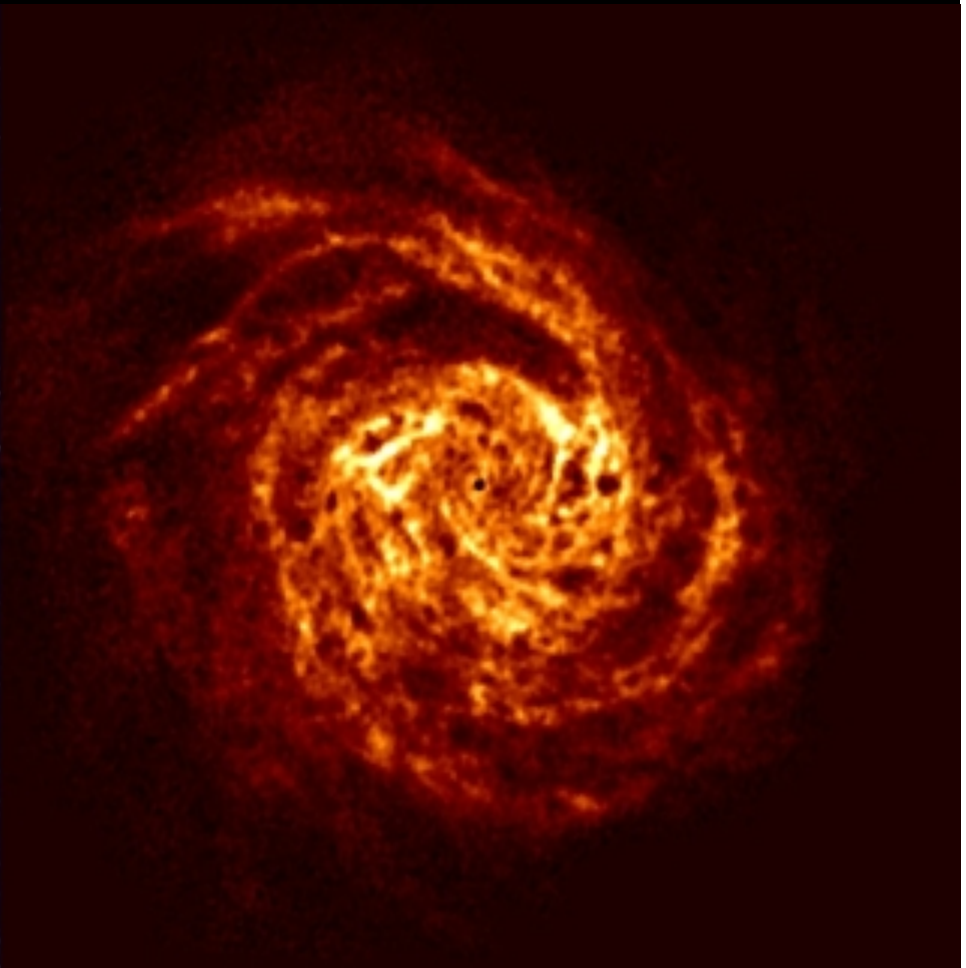
Cygnus A



M 51





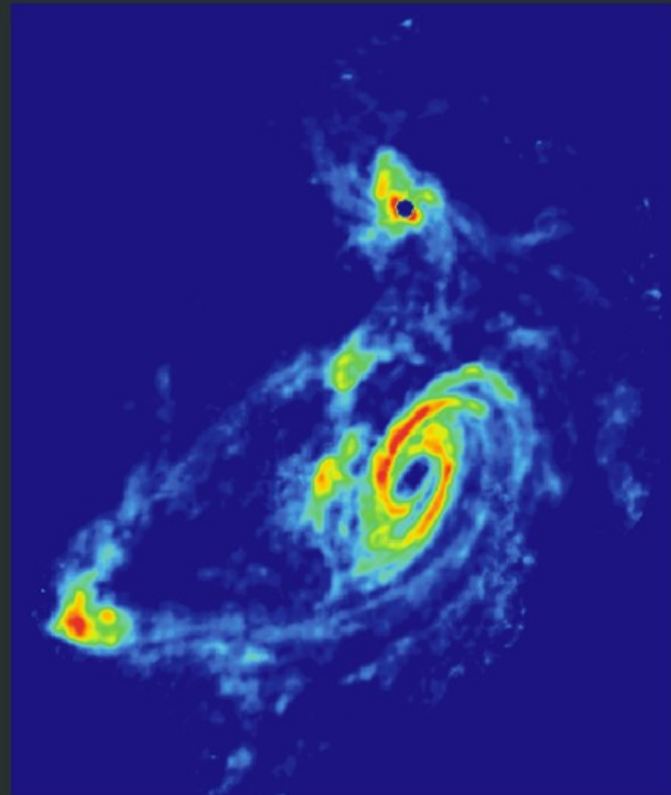


TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

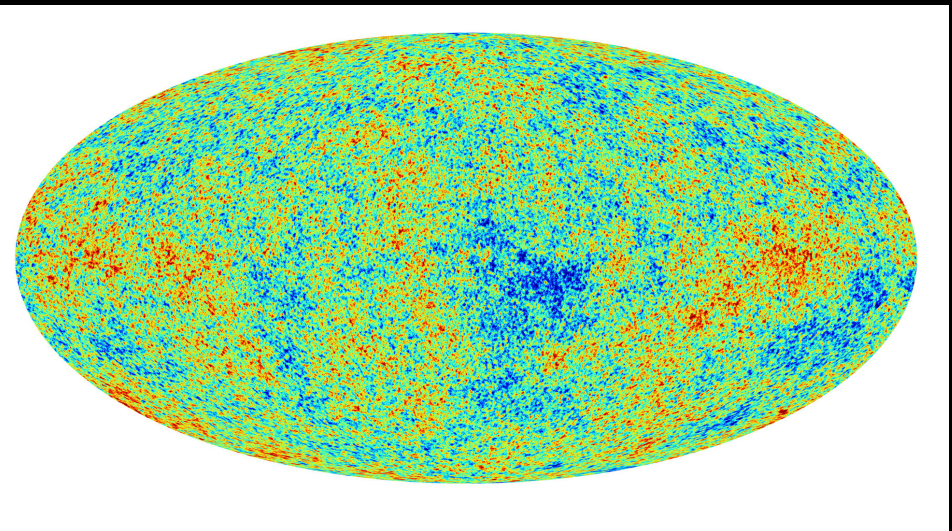
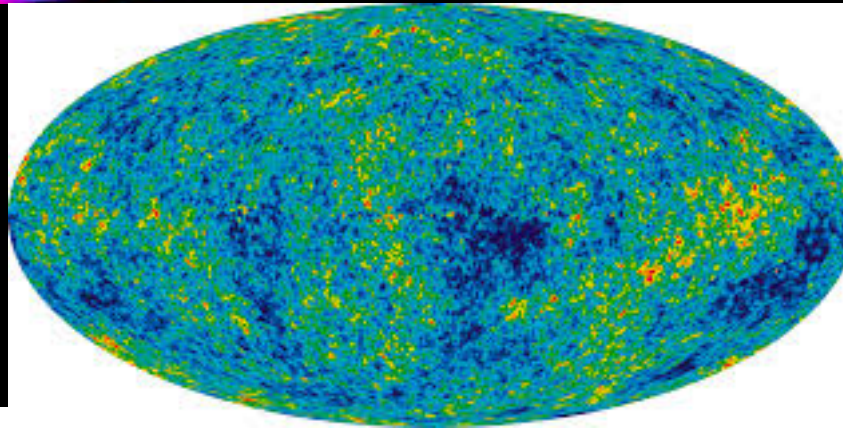
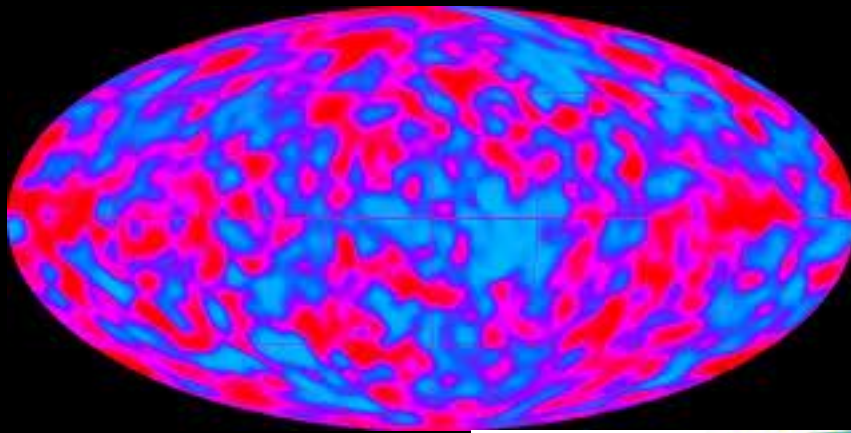
Stellar Light Distribution



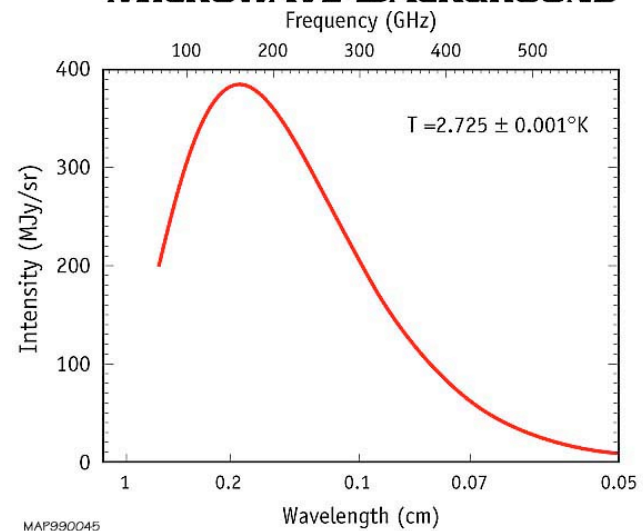
21 cm HI Distribution

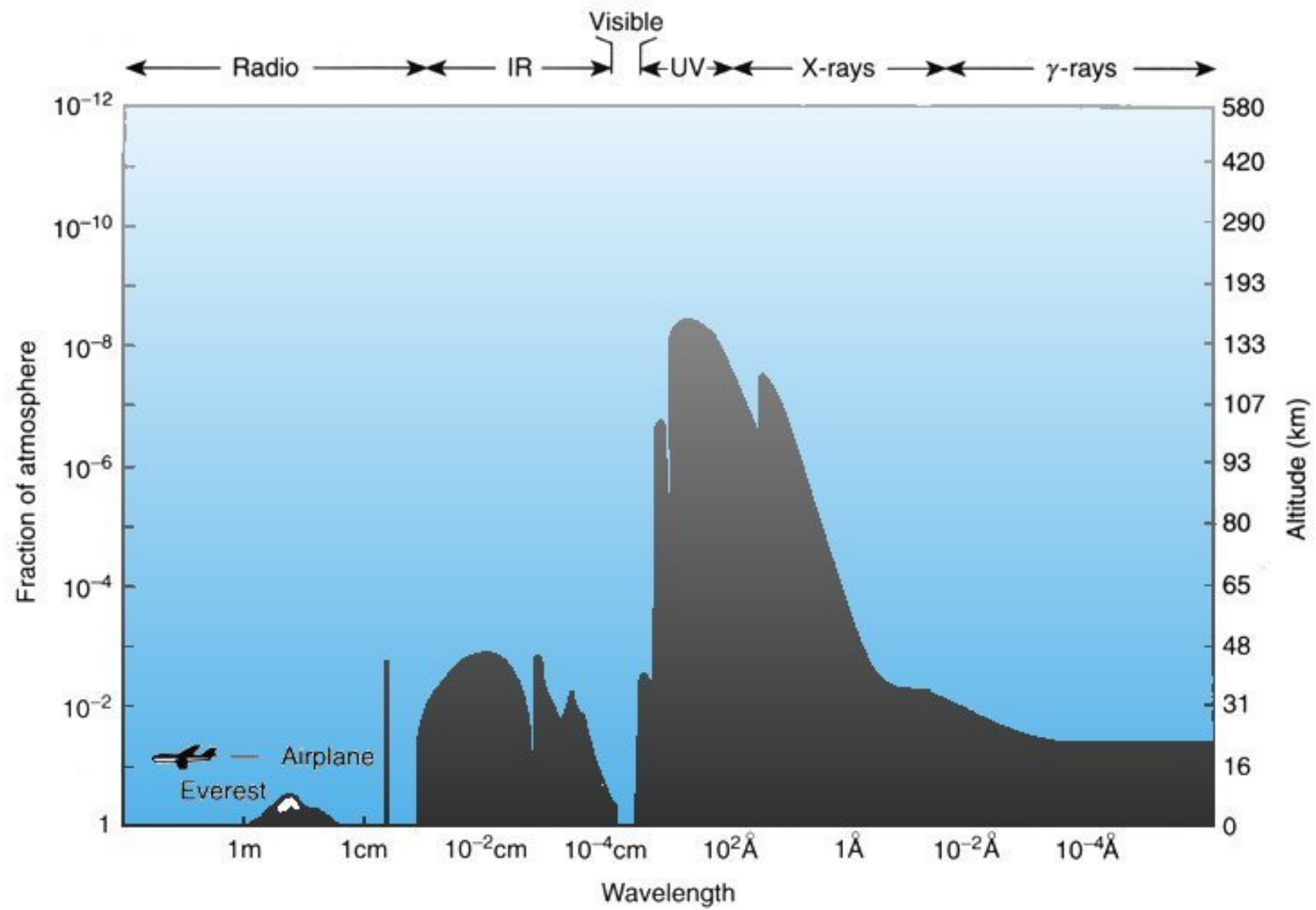


- Astronomia che utilizza la luce “radio”
è soprattutto studio di processi non-termici
- elettroni di alta energia in campi magnetici,
 - transizioni atomiche e molecolari poco energetiche

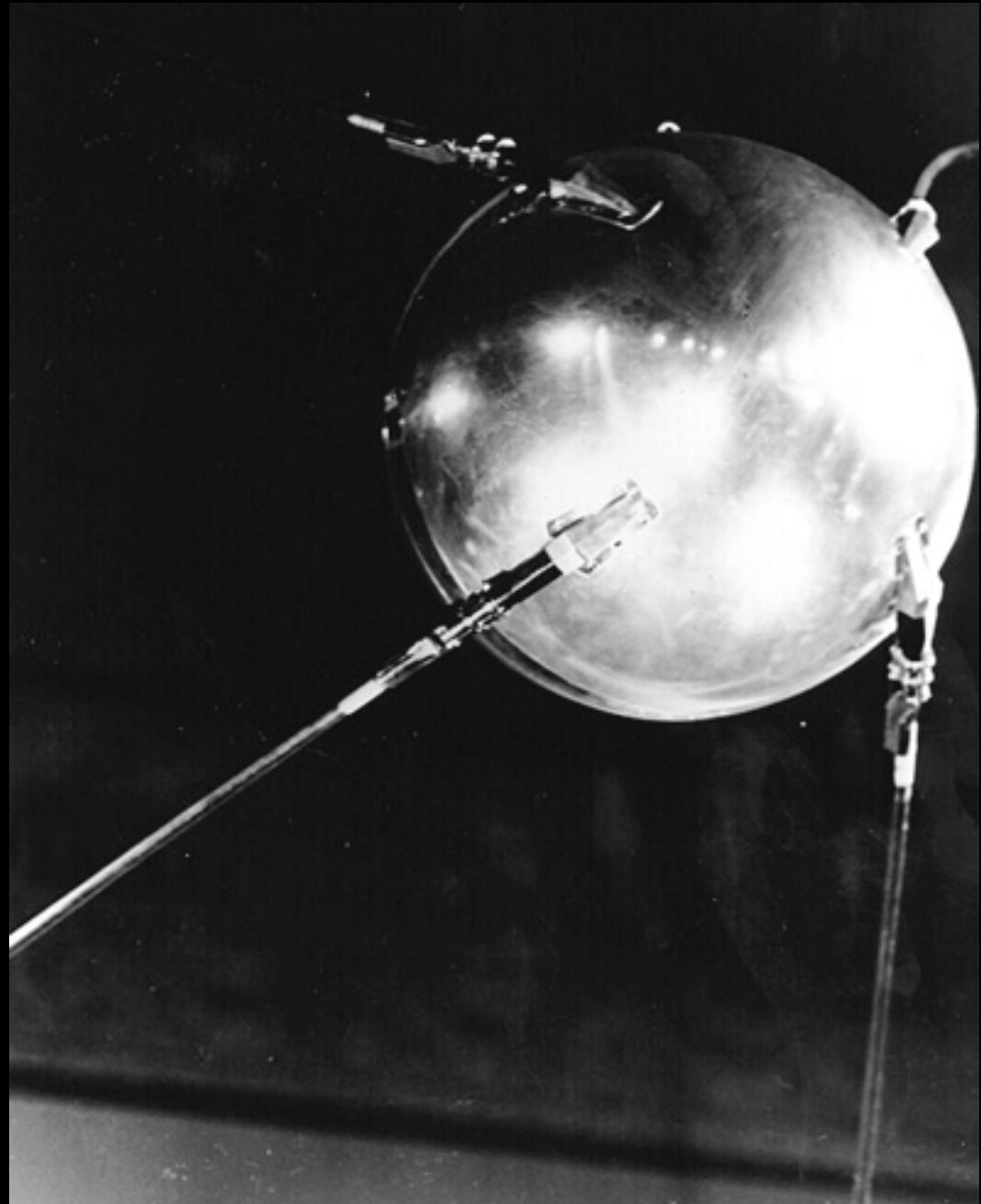


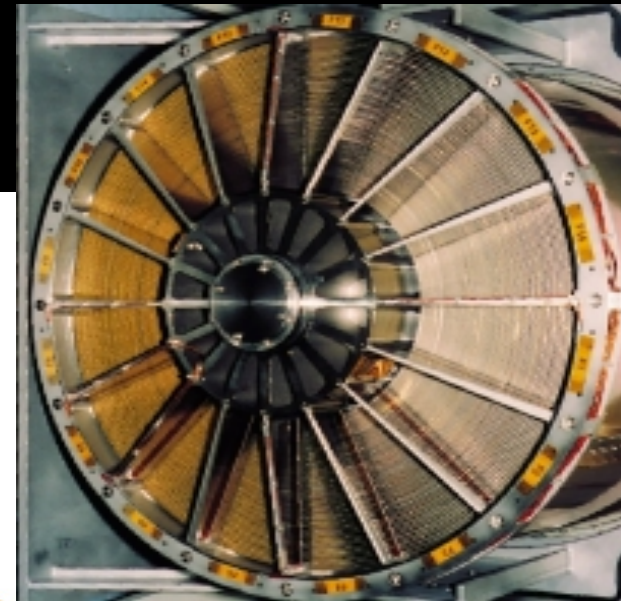
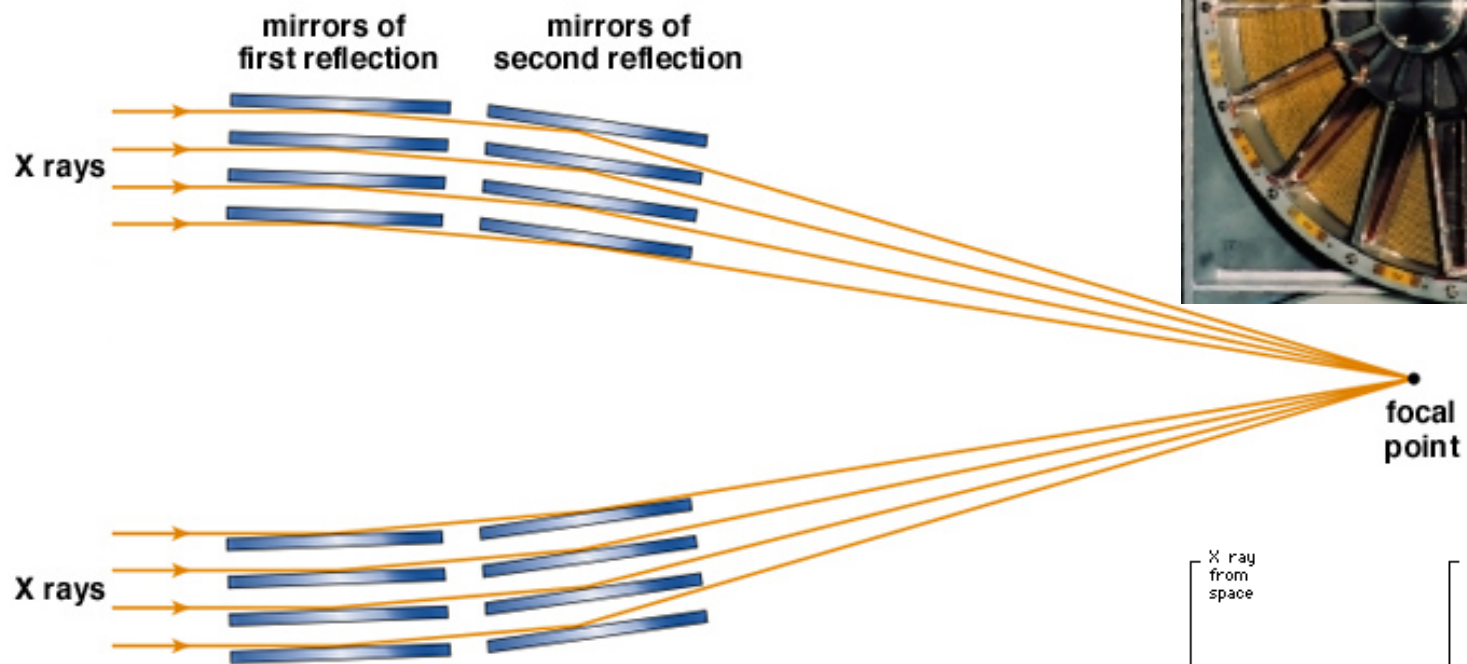
SPECTRUM OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND





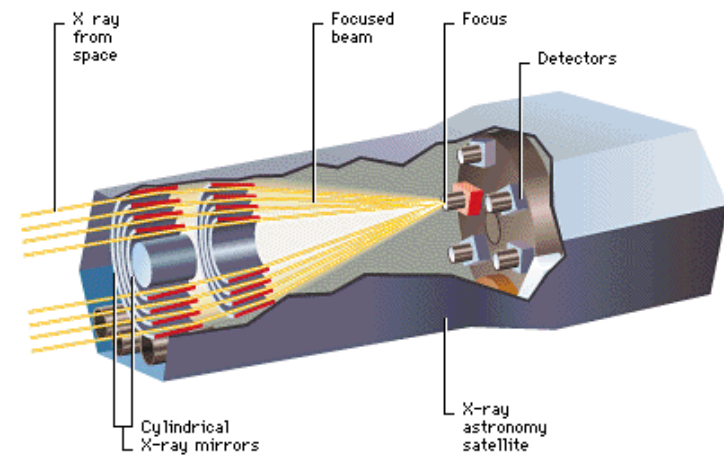
Sputnik
4 Ottobre 1957





(a)

Copyright © Addison Wesley





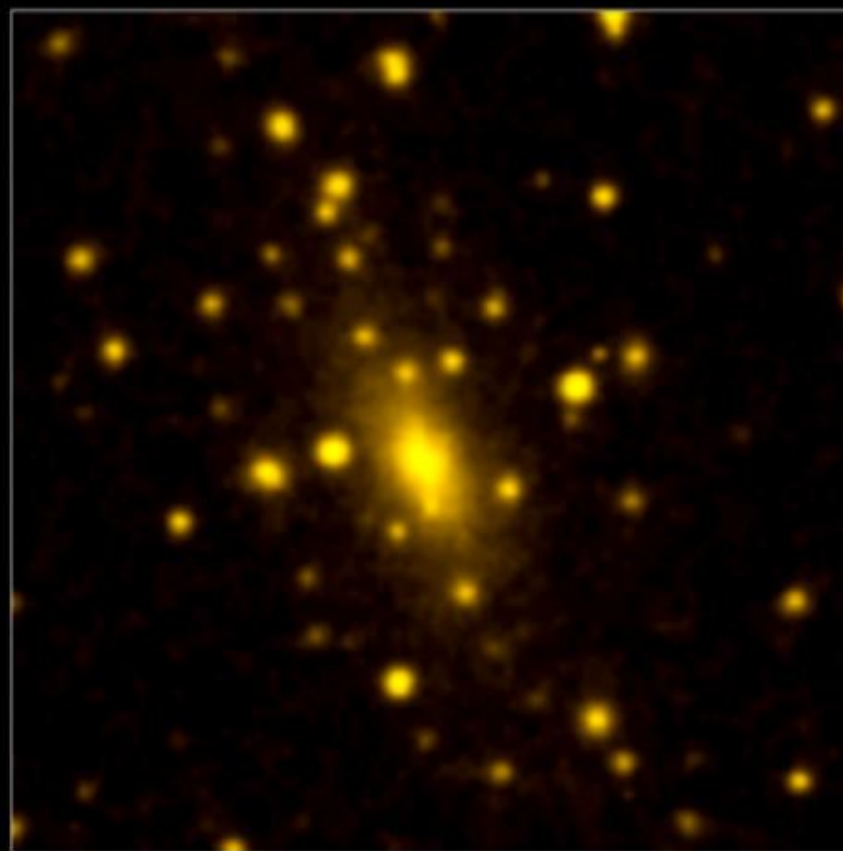
Centaurus A
(visibile)



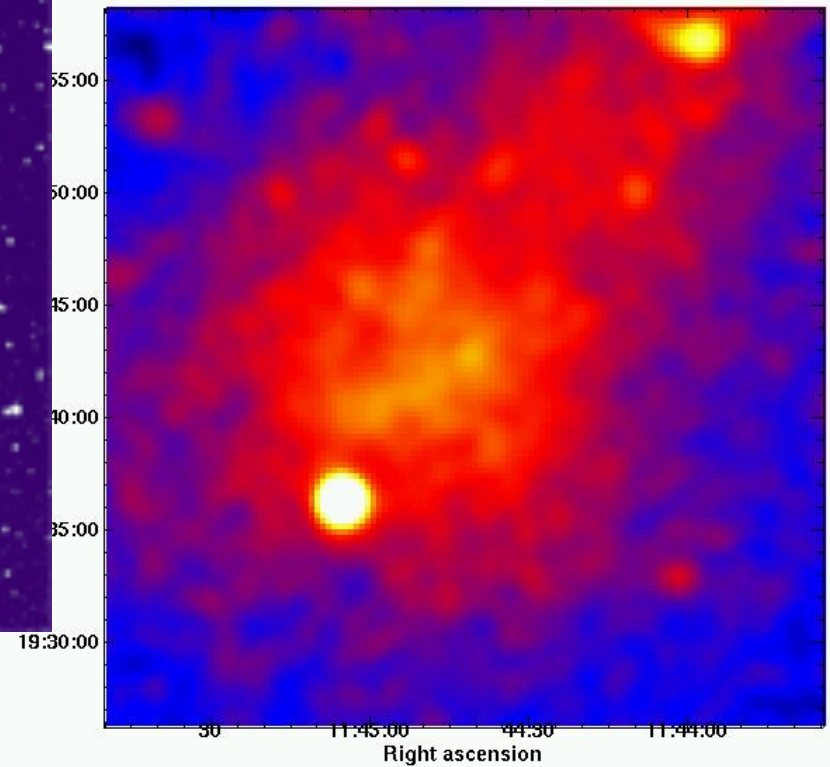
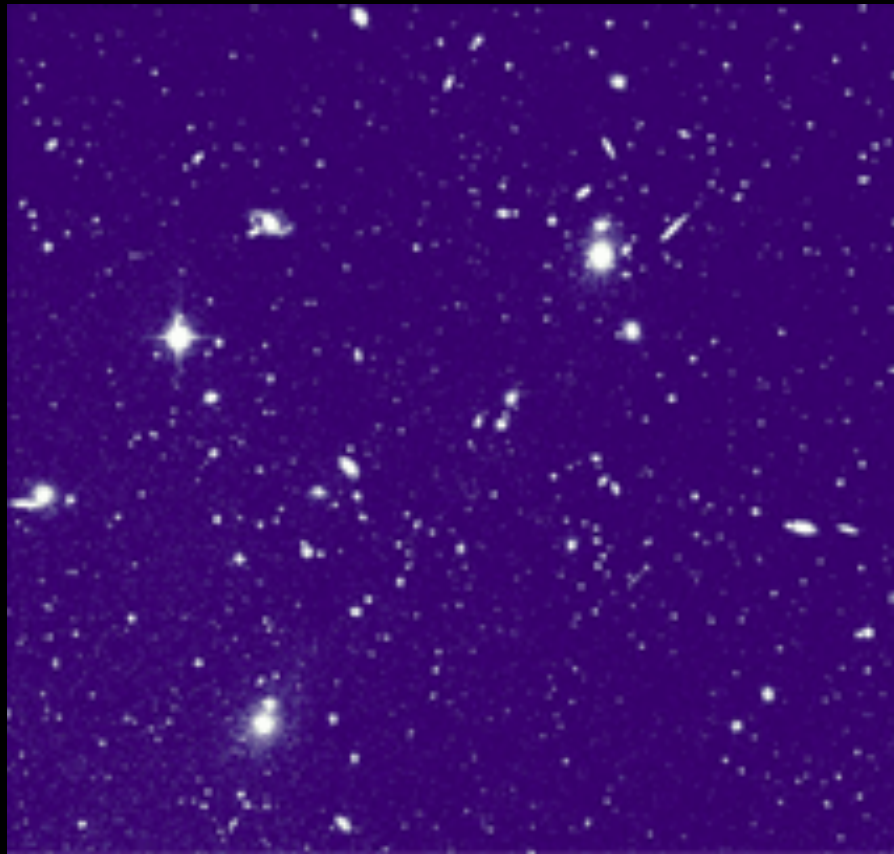
Centaurus A
raggi X



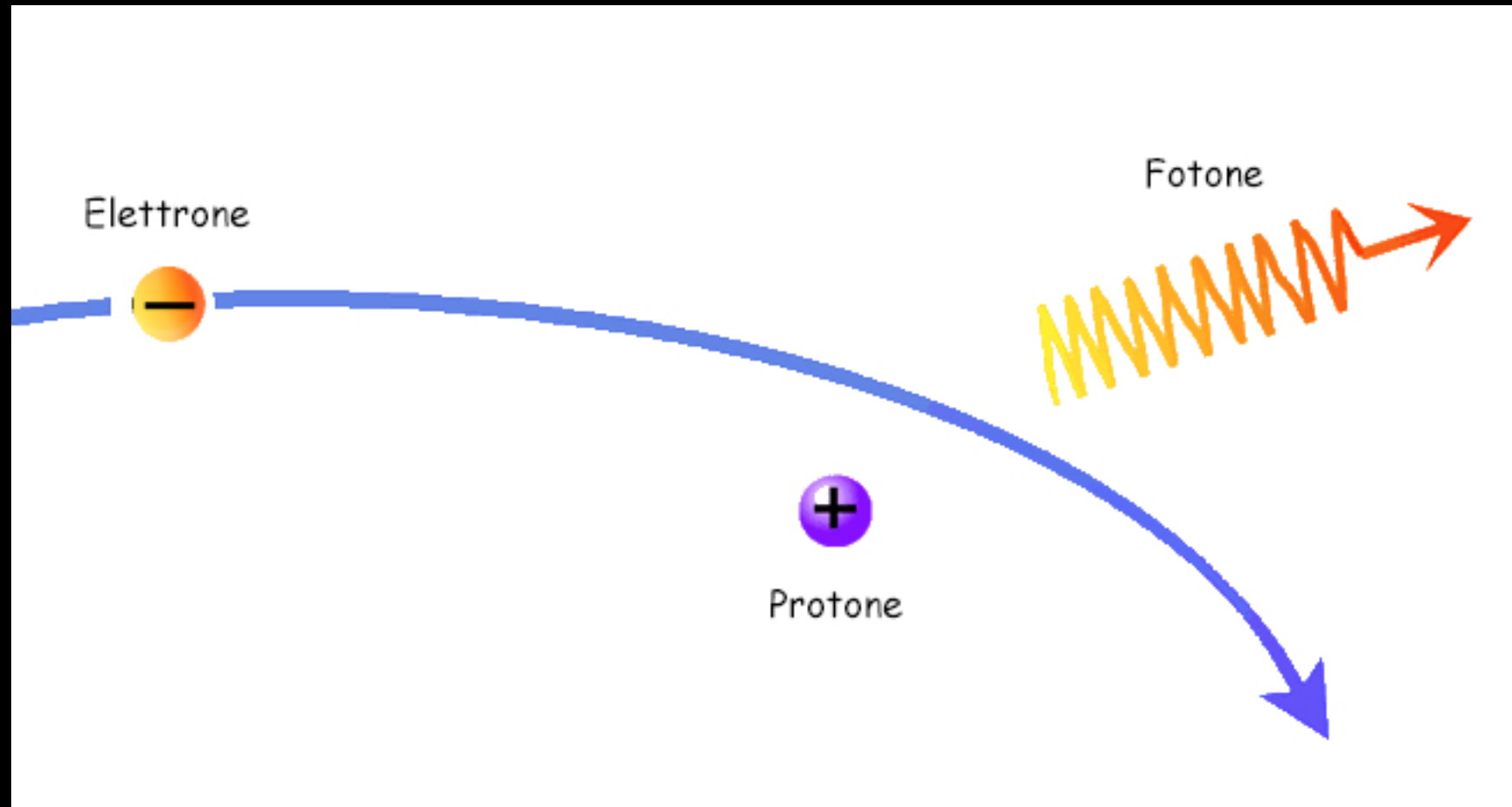
CHANDRA X-RAY



DSS OPTICAL



A1367: immagine ottica e X



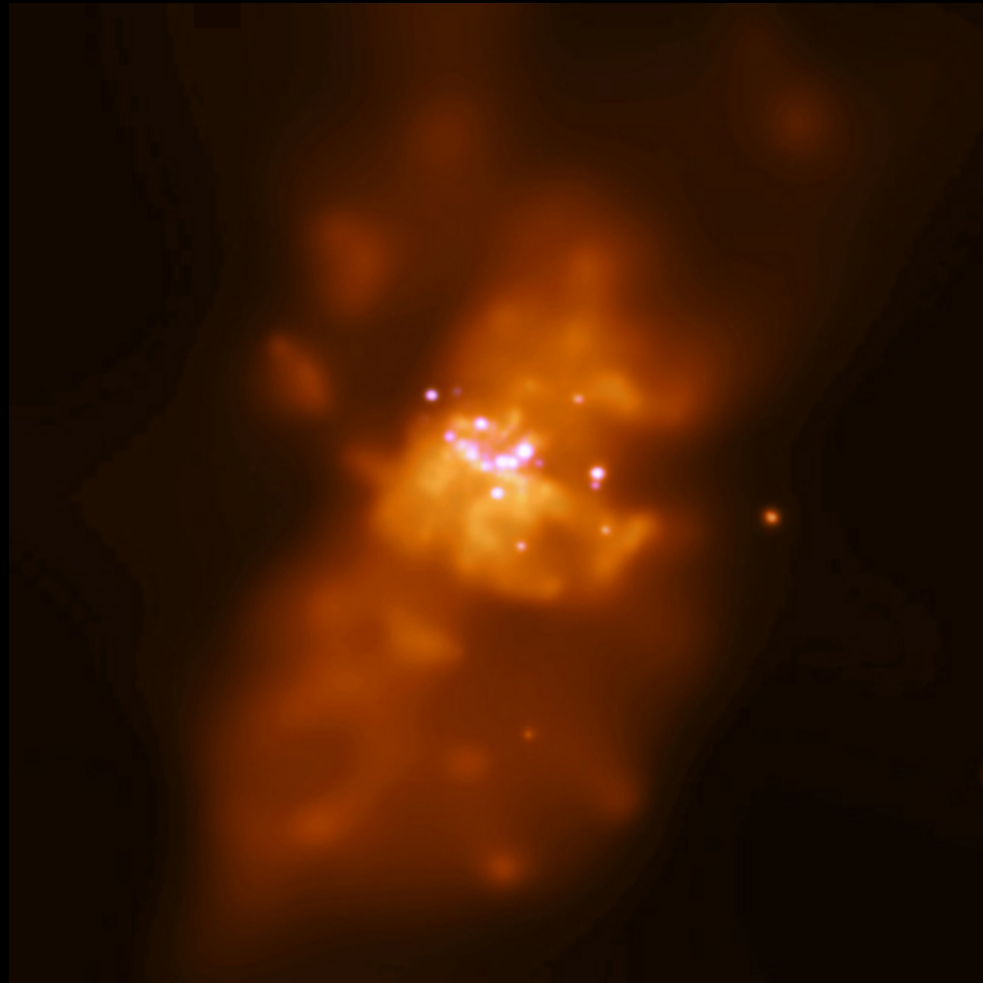
Frenamento di elettroni di alta energia ad opera di protoni in un gas caldo

La frequenza della radiazione emessa dipende da quanto la traiettoria dell'elettrone viene deviata. Questo a sua volta dipende da altri fattori quali la velocità relativa delle particelle, e quindi dalla temperatura del gas

Esempi: radiazione X da ammassi di galassie e da galassie ellittiche giganti e anche da atmosfere (corone) calde delle stelle e da resti di supernova



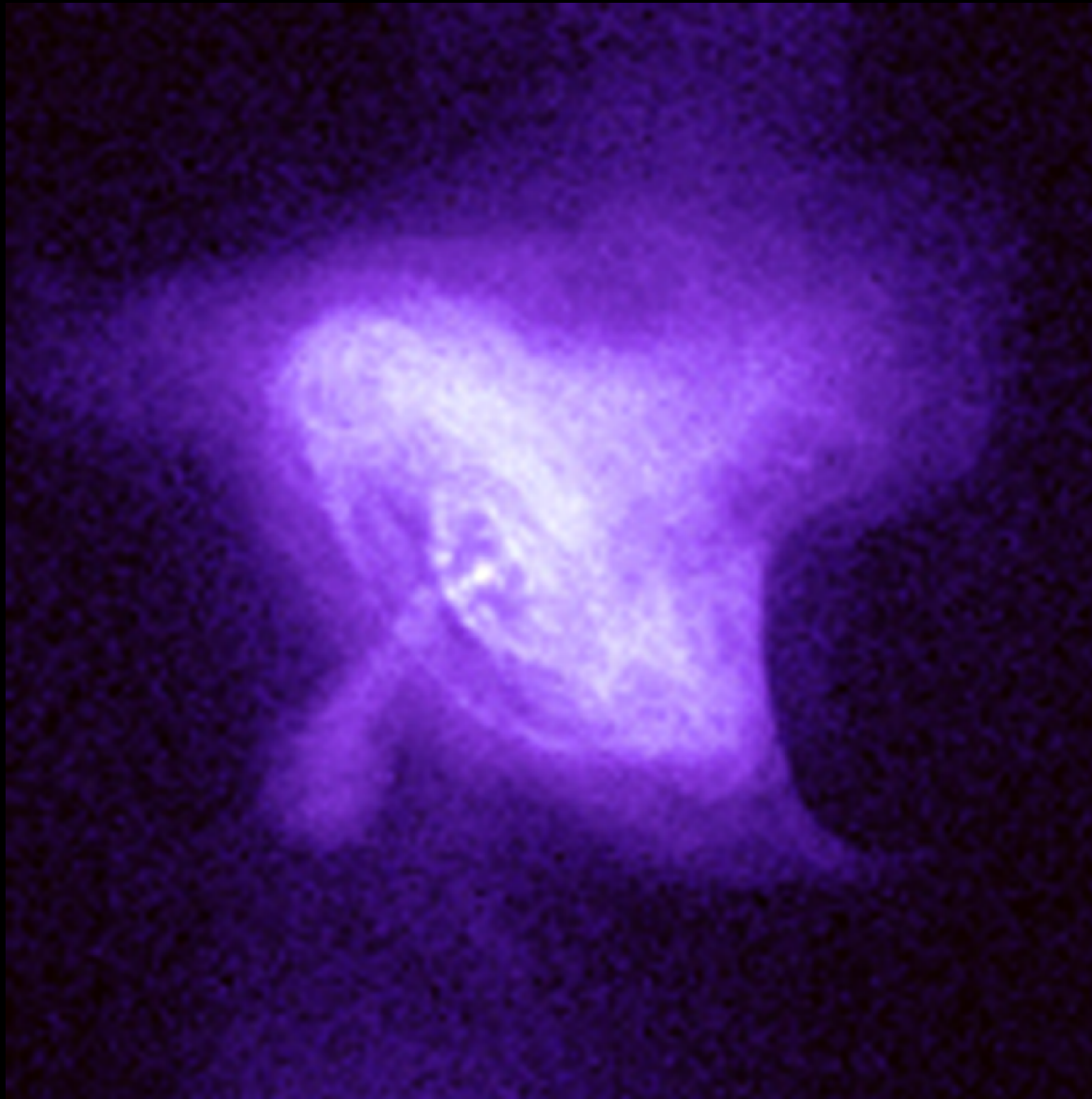
M82 (luce visibile)



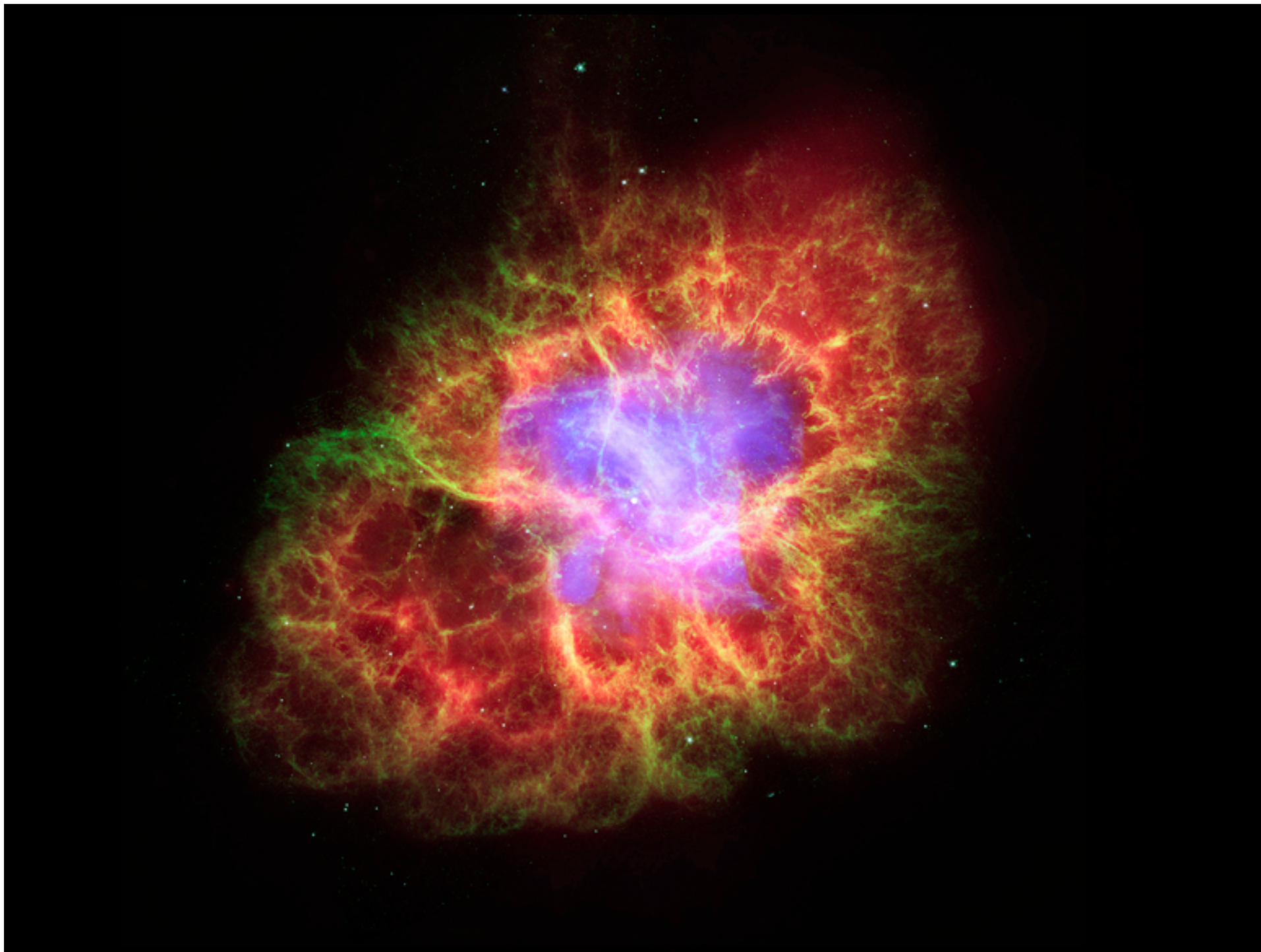
M82 (raggi X)

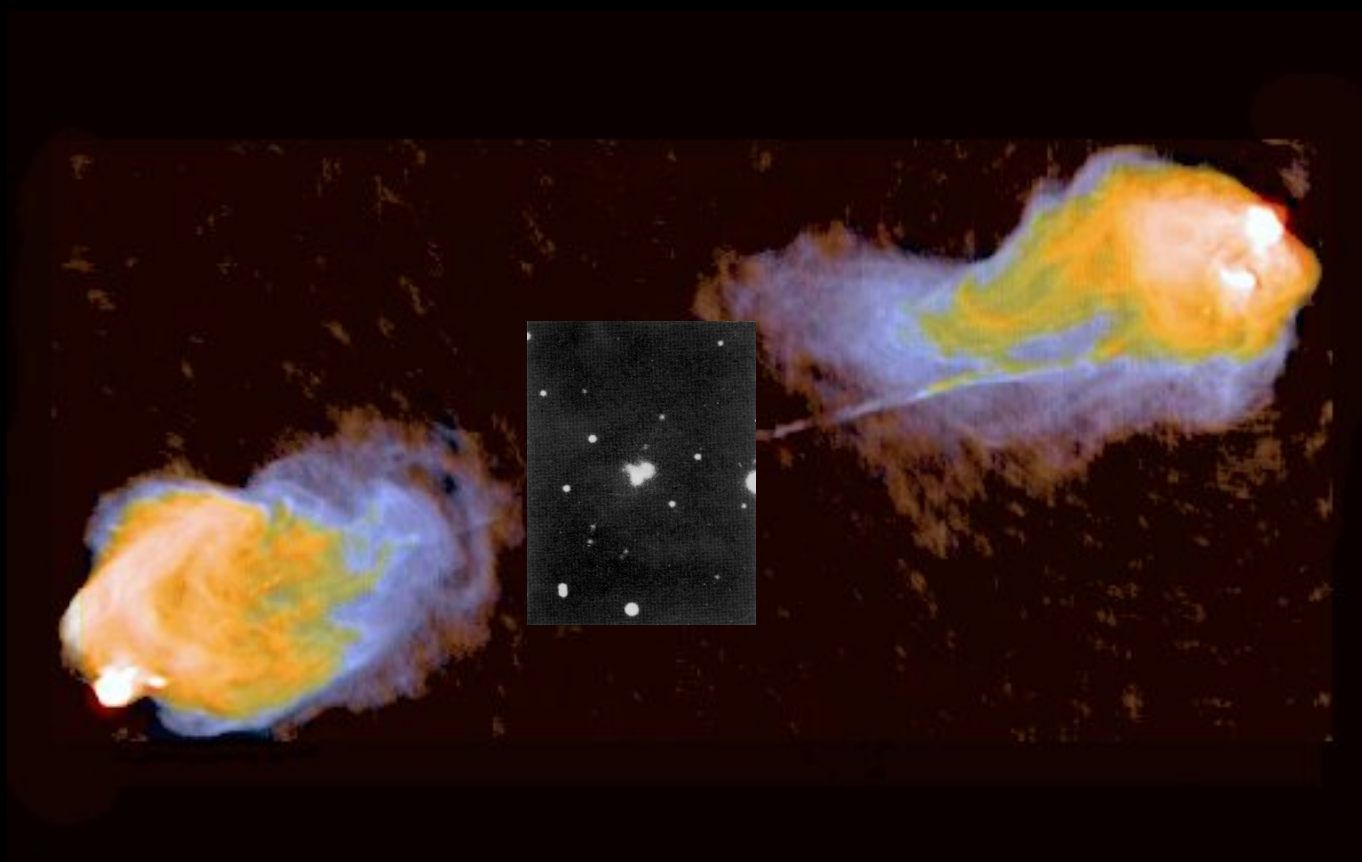


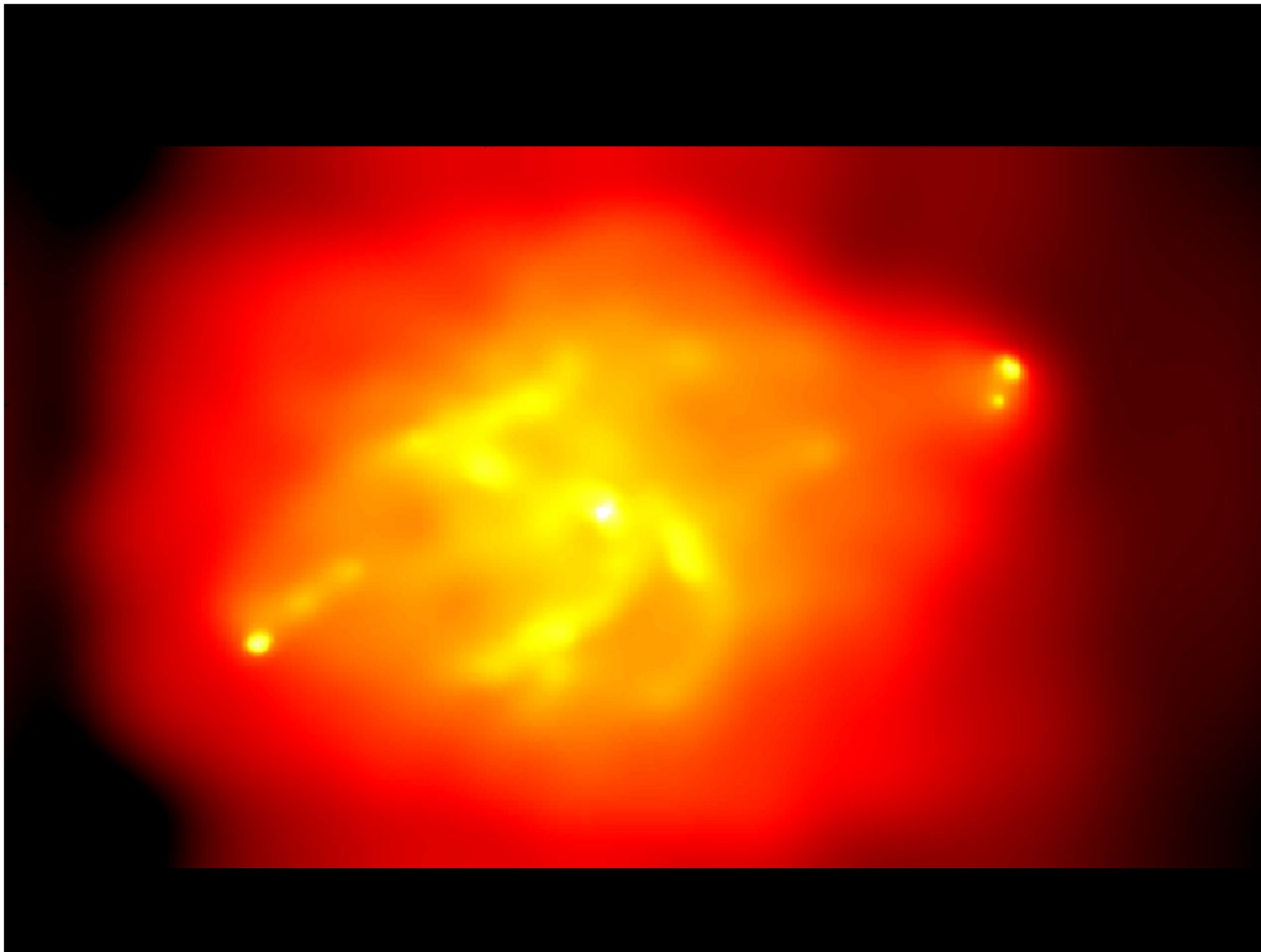
Nebulosa del granchio (visibile)



Nebulosa del granchio (raggi X)

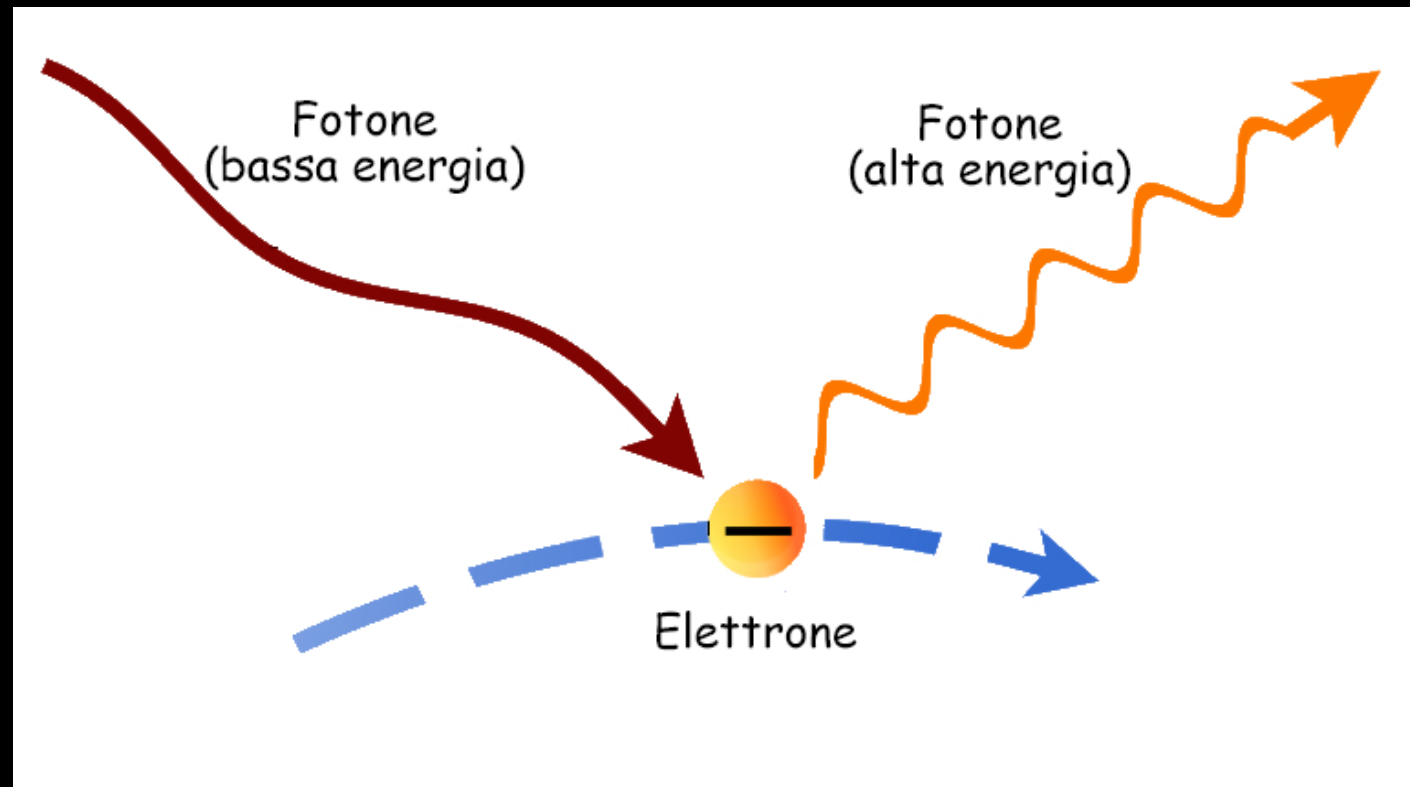






Astronomia che utilizza la luce “X”
studio di processi estremamente energetici
sia termici (plasmi a milioni di gradi) che non-termici
(elettroni relativistici in campi magnetici
o interagenti con fotoni)

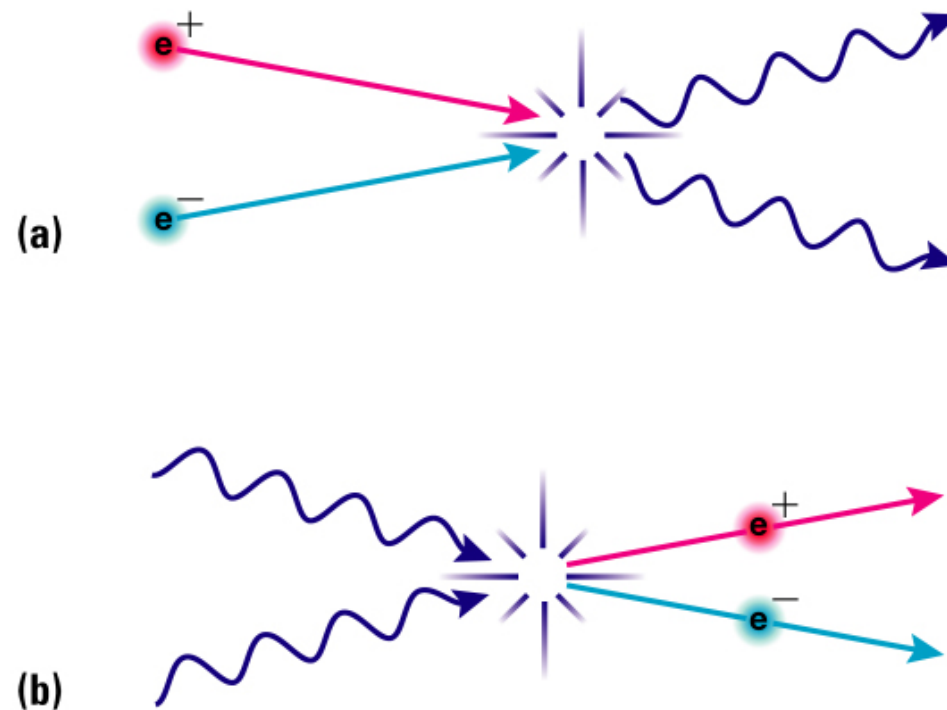
Diffusione Compton (inversa)



La diffusione Compton (inversa) avviene quando un fotone di bassa energia come quelli della radiazione cosmica di fondo interagisce con un elettrone relativistico. Elettroni relativistici sono prodotti ad esempio nei nuclei di alcune galassie e nelle pulsar

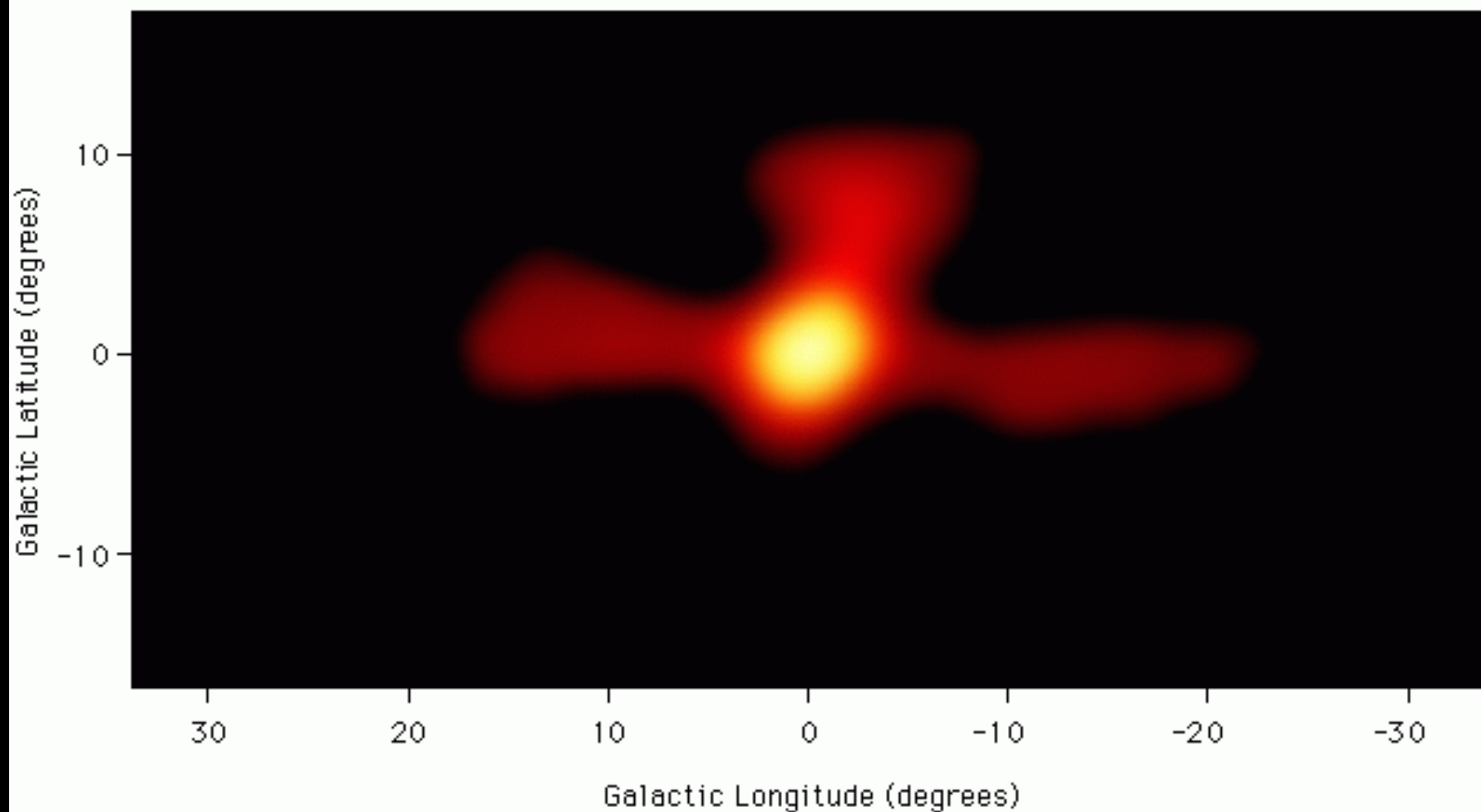


Annichilazione di una particella con la sua antiparticella



Copyright © Addison Wesley

Nel caso di $e^+ e^-$ si produce una riga di energia = 511 keV



Caption: Map of the distribution of positrons towards the center of the Milky Way Galaxy, including the newly discovered antimatter "cloud". The brightest feature corresponds to the nucleus of the Galaxy. The horizontal structure lies along the plane of the Galaxy. The antimatter "cloud" is located above the Galactic center.

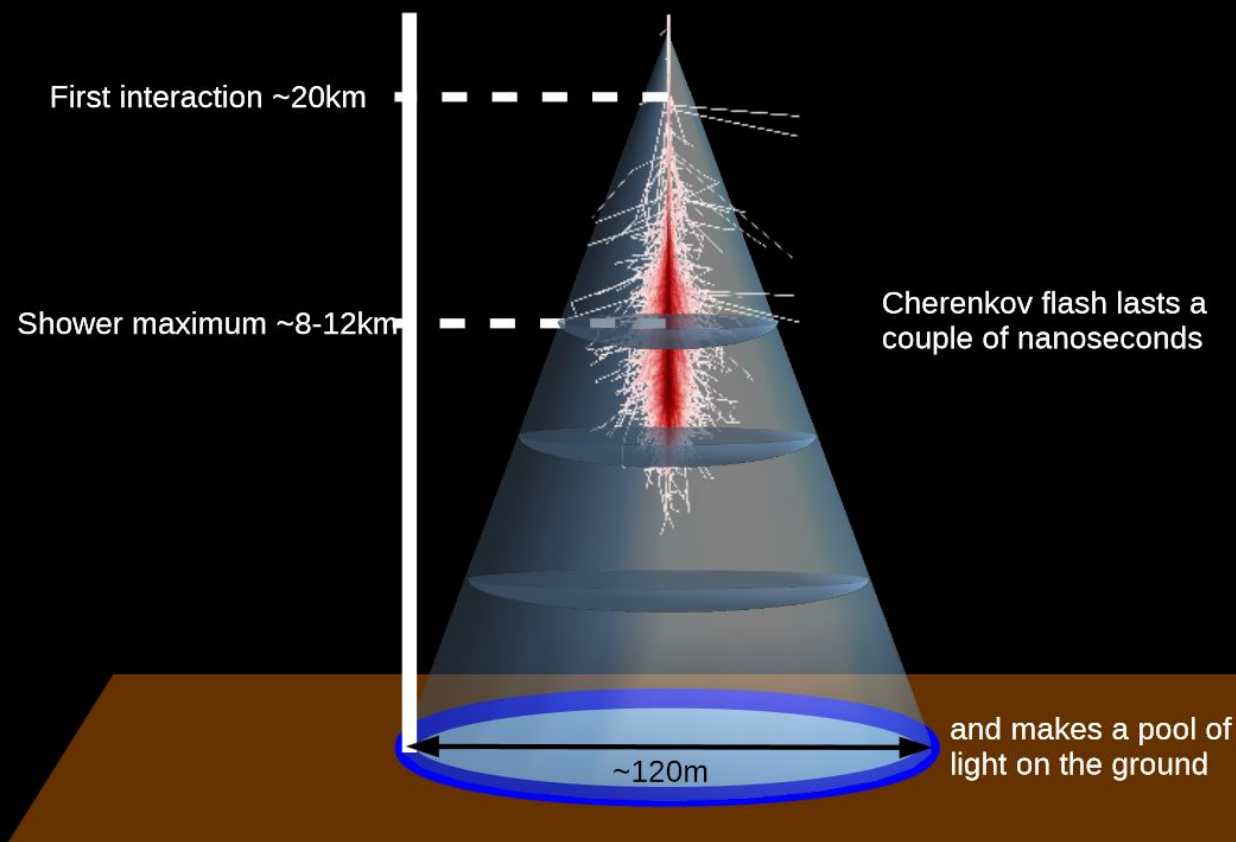
Courtesy of D. D. Dixon (University of California, Riverside) and W. R. Purcell (Northwestern University)

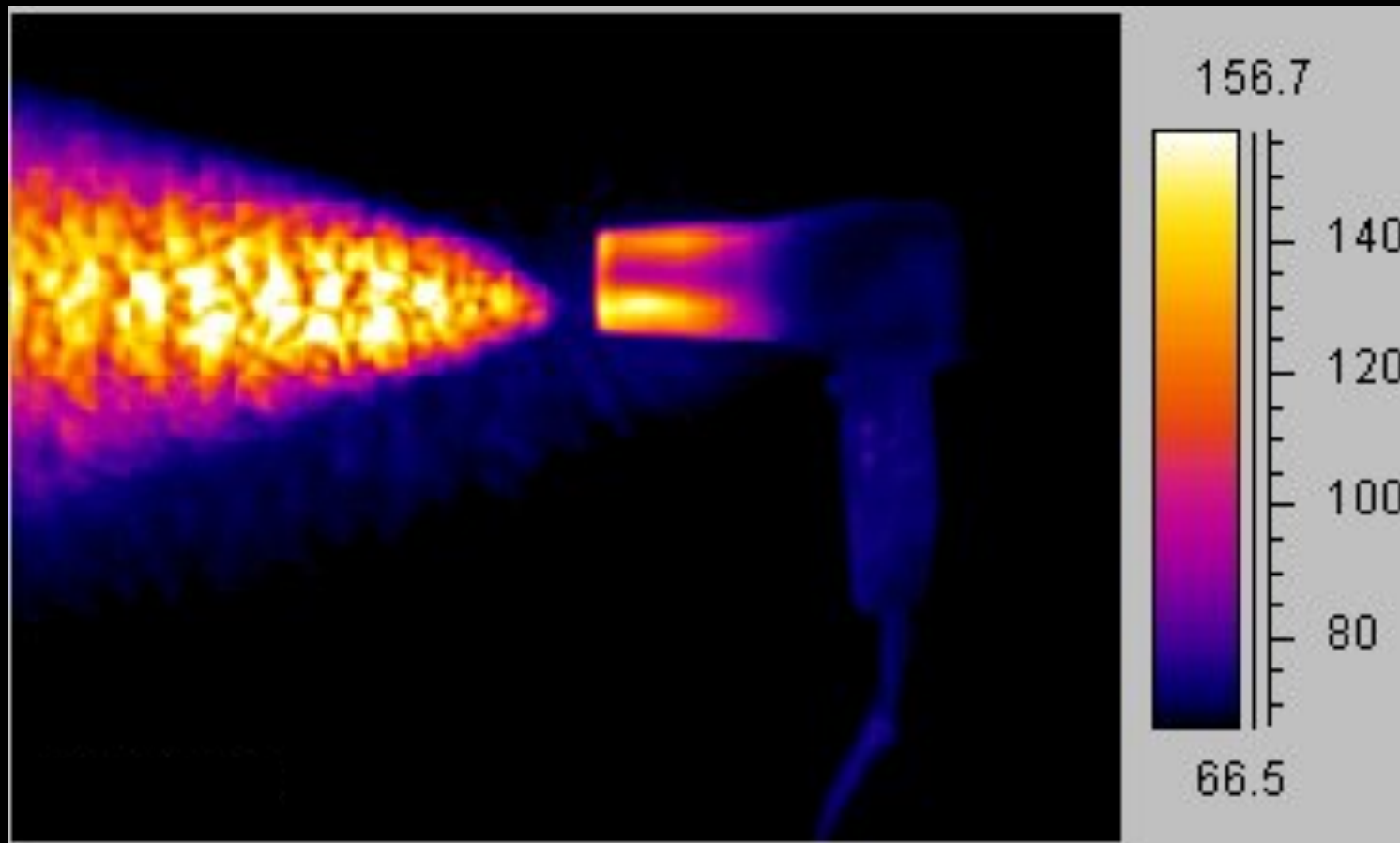
I 2 telescopi MAGIC
alle Canarie



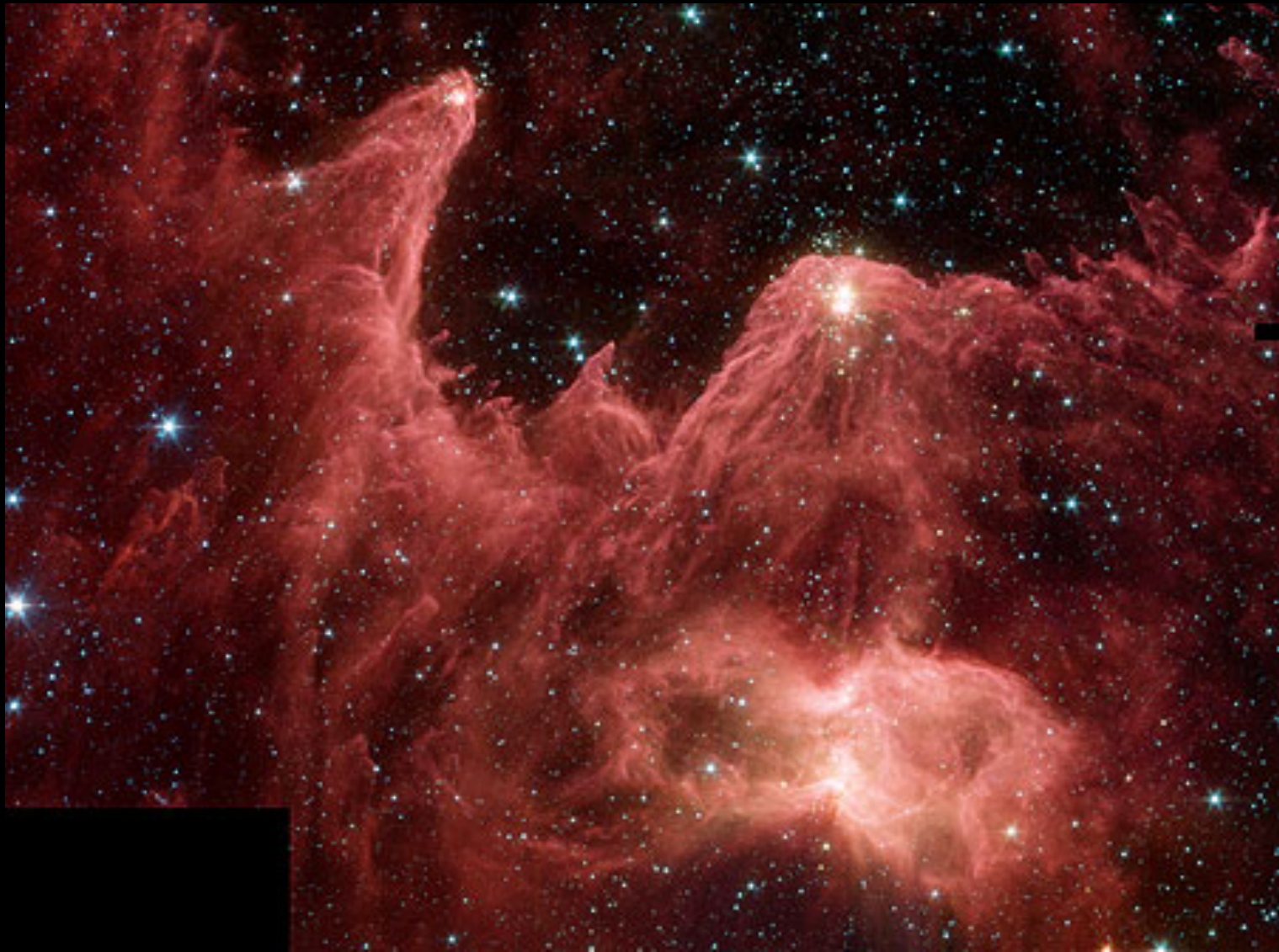
2 dei 4 telescopi HESS
in Namibia

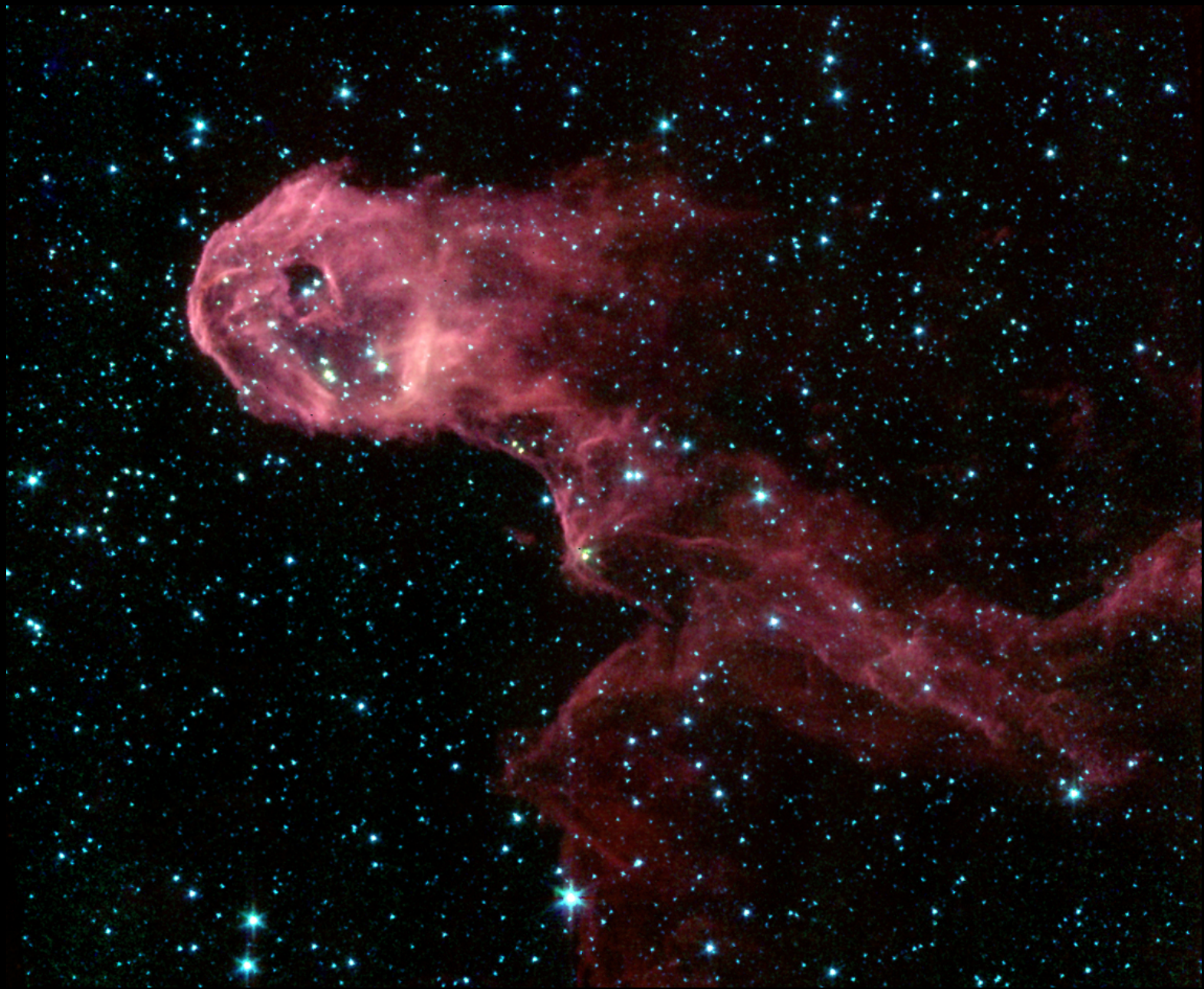
Raggi gamma di altissima energia (TeV)
producono sciame di particelle cariche
e sono studiati attraverso la “luce Cerenkov” che
queste generano

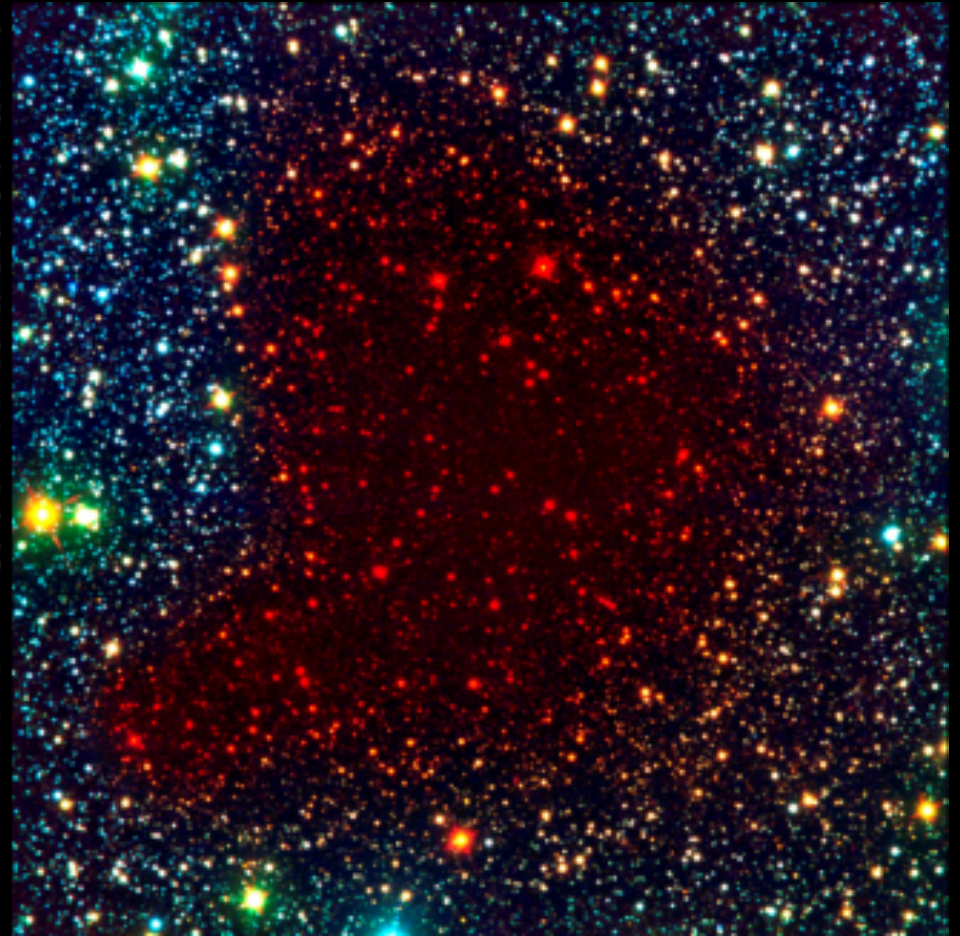
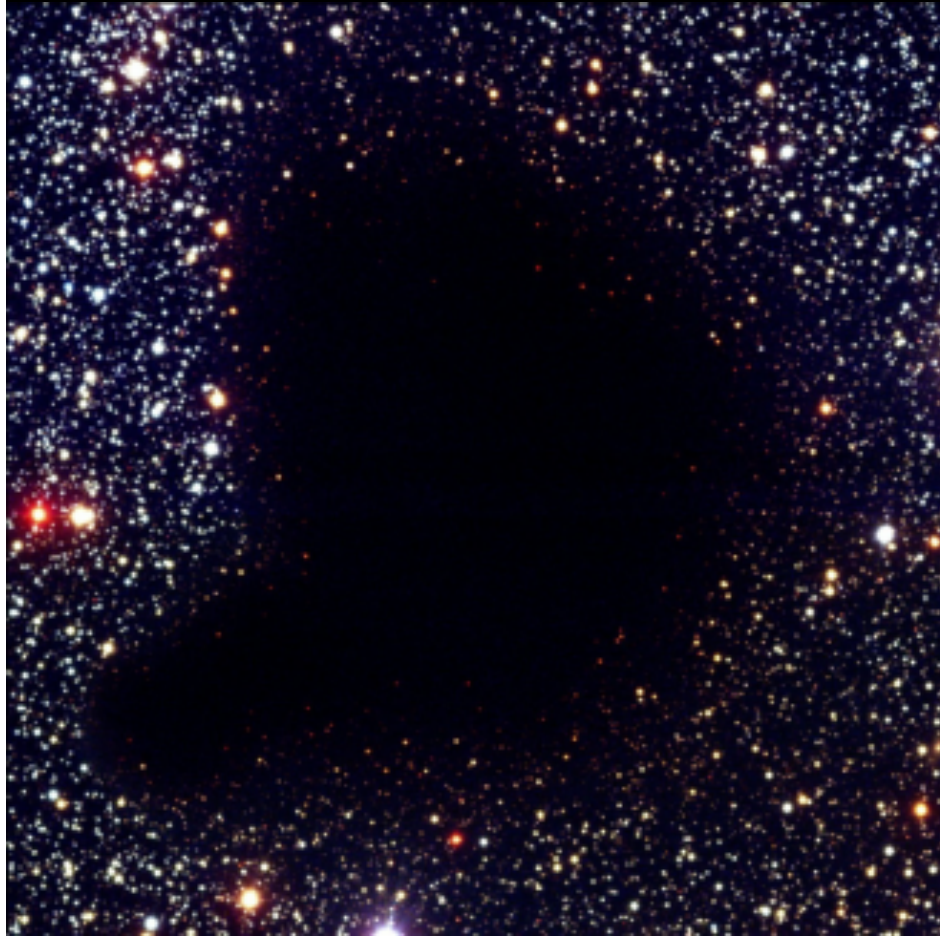






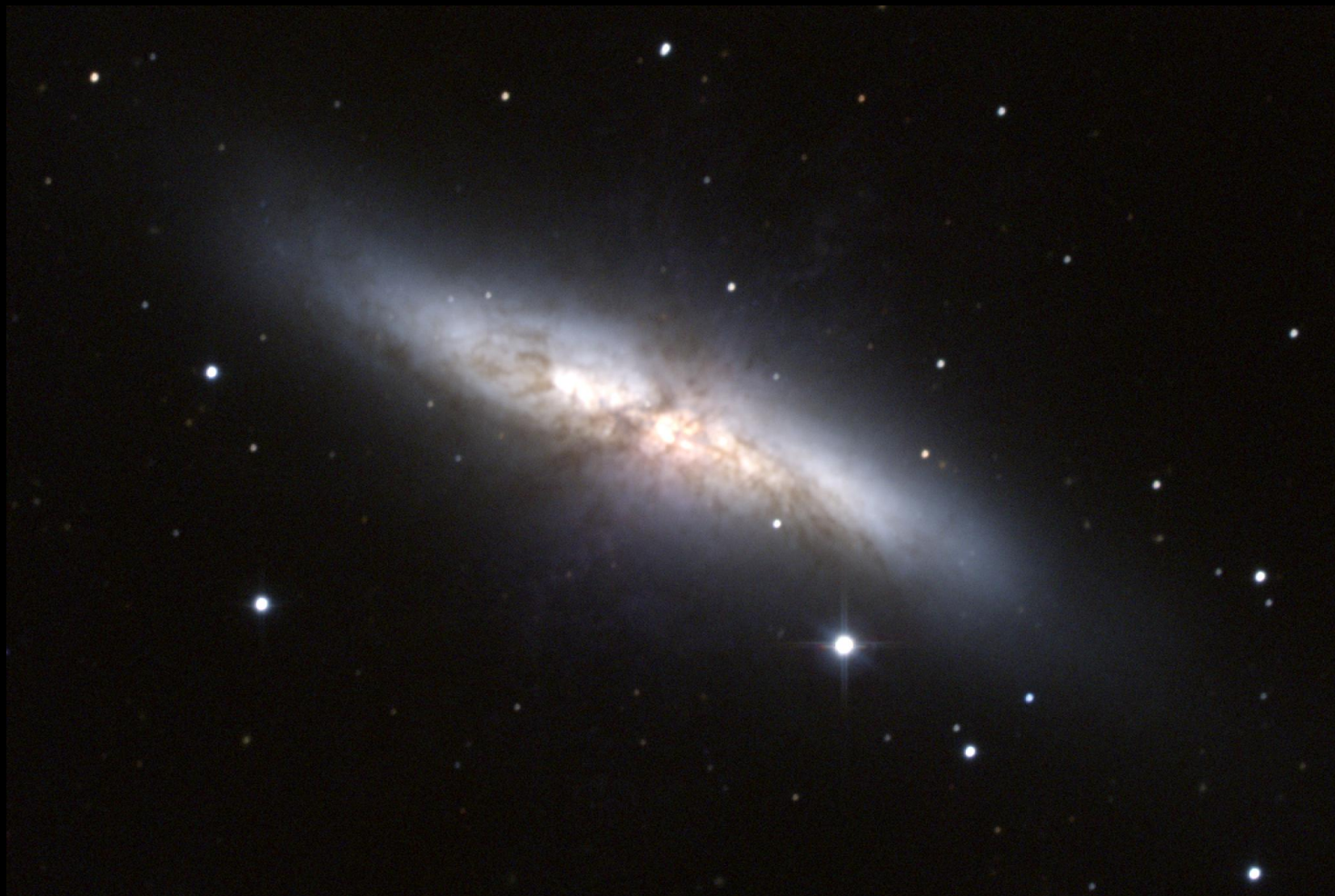










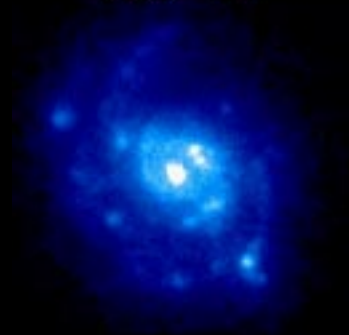


M82 (luce visibile)

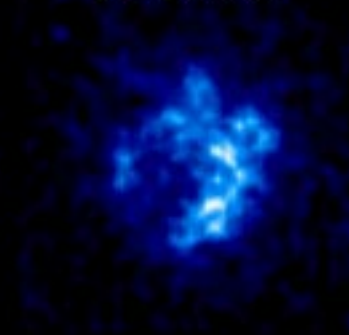


Astronomia che utilizza la luce “infrarossa”
è soprattutto studio di processi termici
con temperature dell'ordine di pochi gradi
e di oggetti fortemente assorbiti
(es. centro nostra galassia)

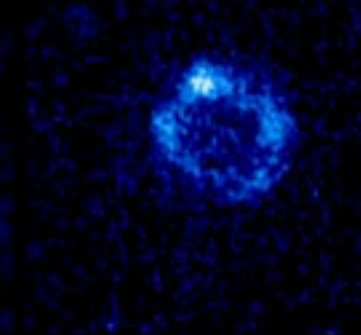
M77 UV



M100 UV



NGC1317 UV



M77 VIS

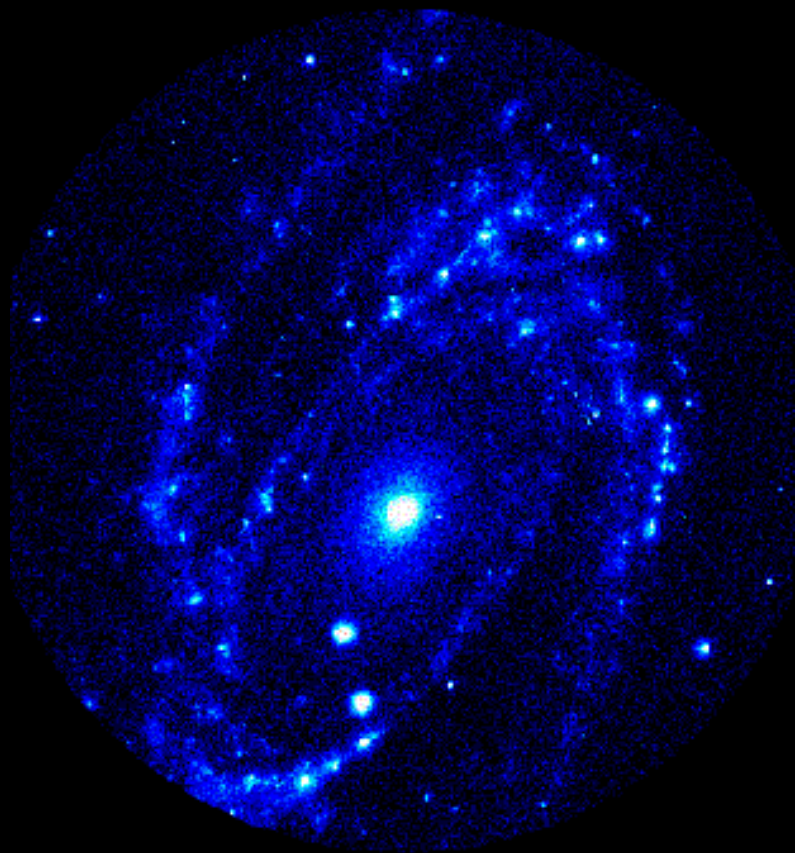


M100 VIS

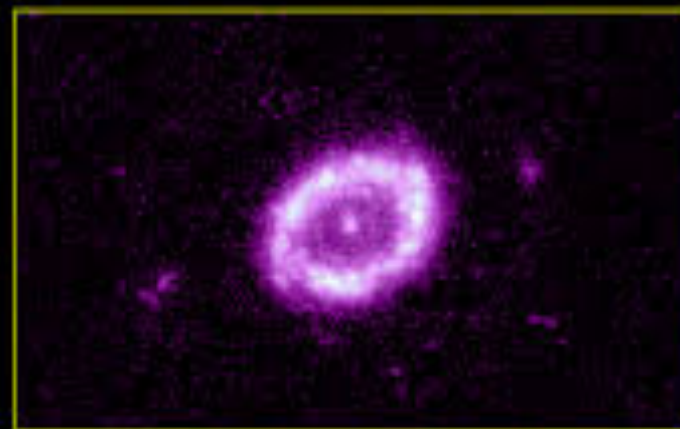


NGC1317 VIS

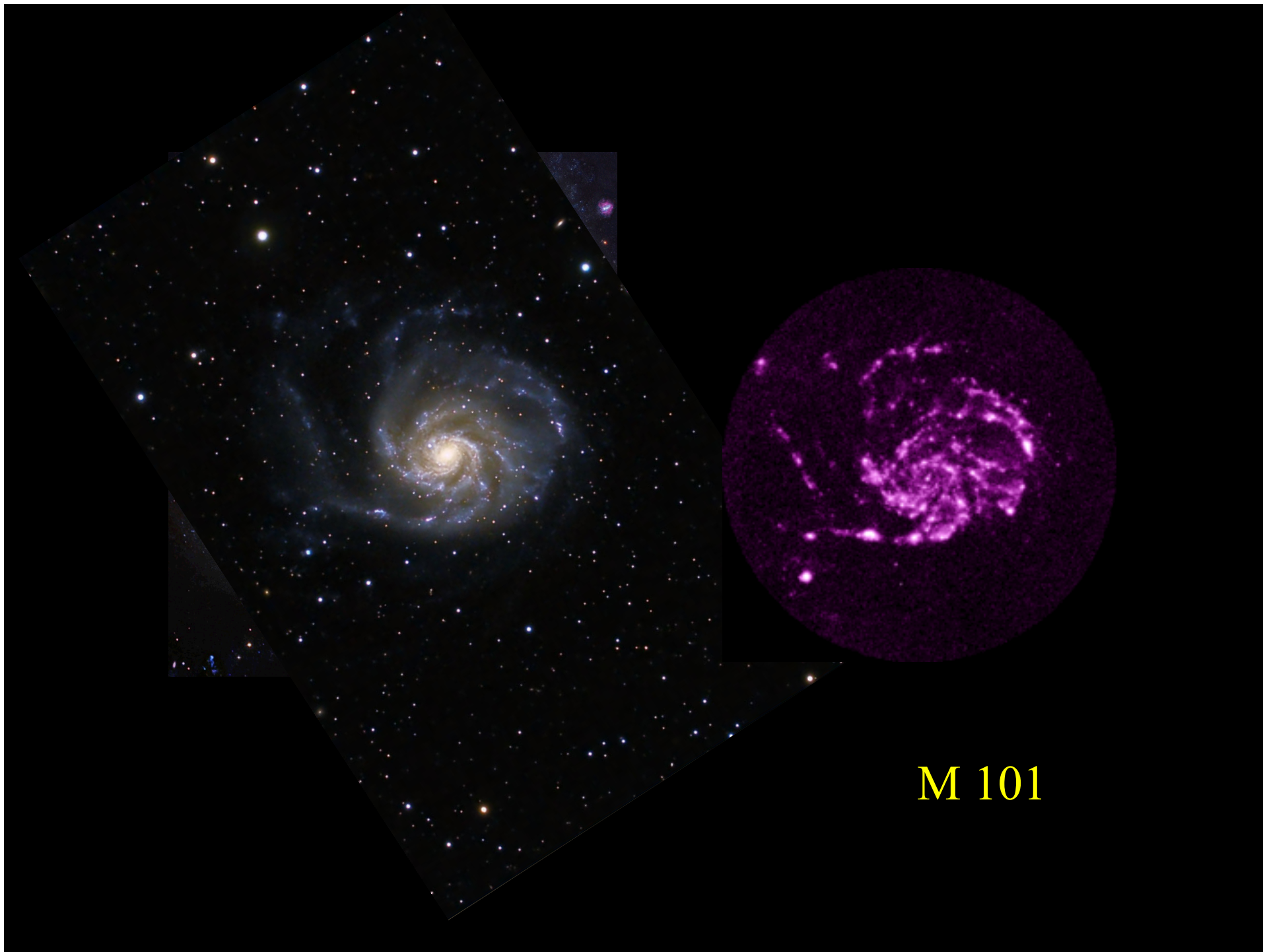




M 81

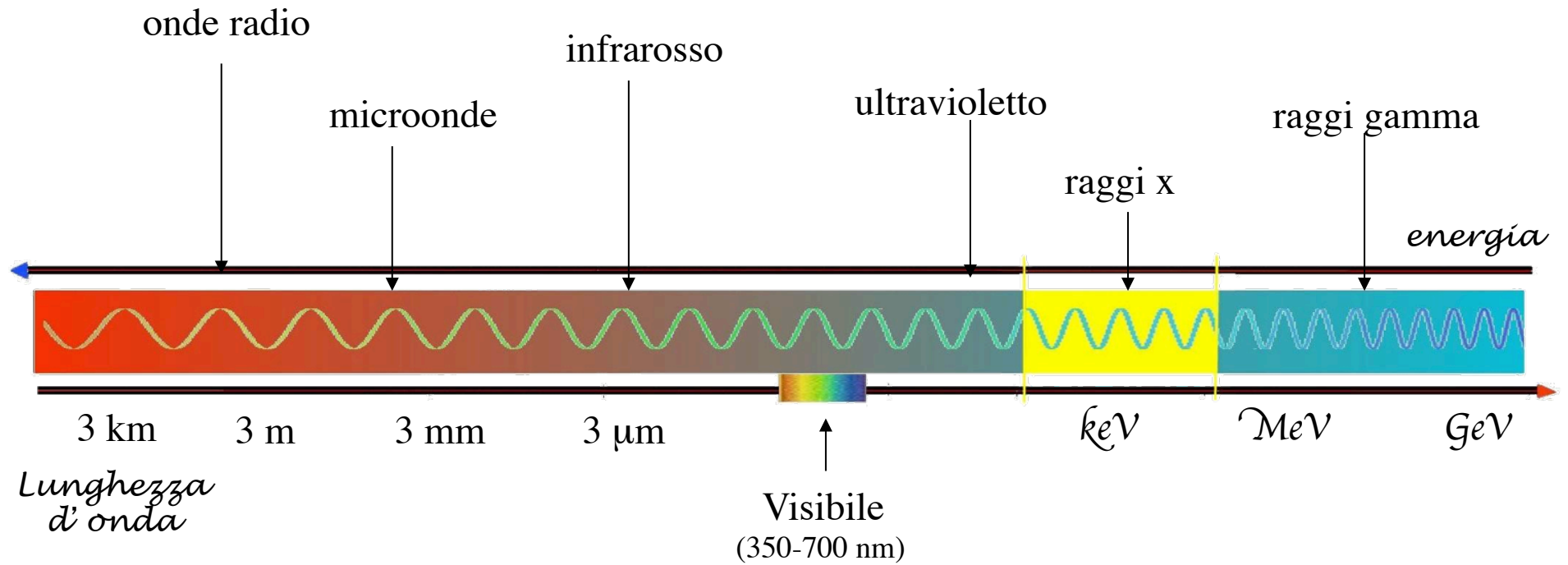


M 94



M 101

Lo spettro elettromagnetico



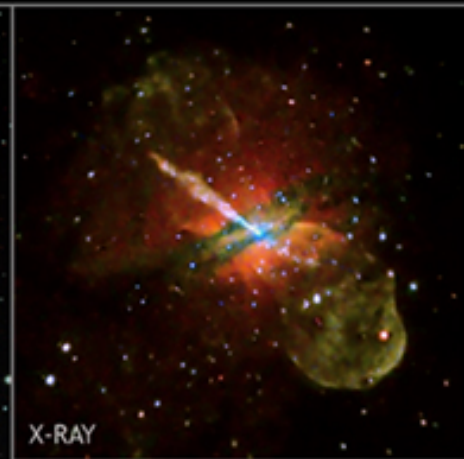
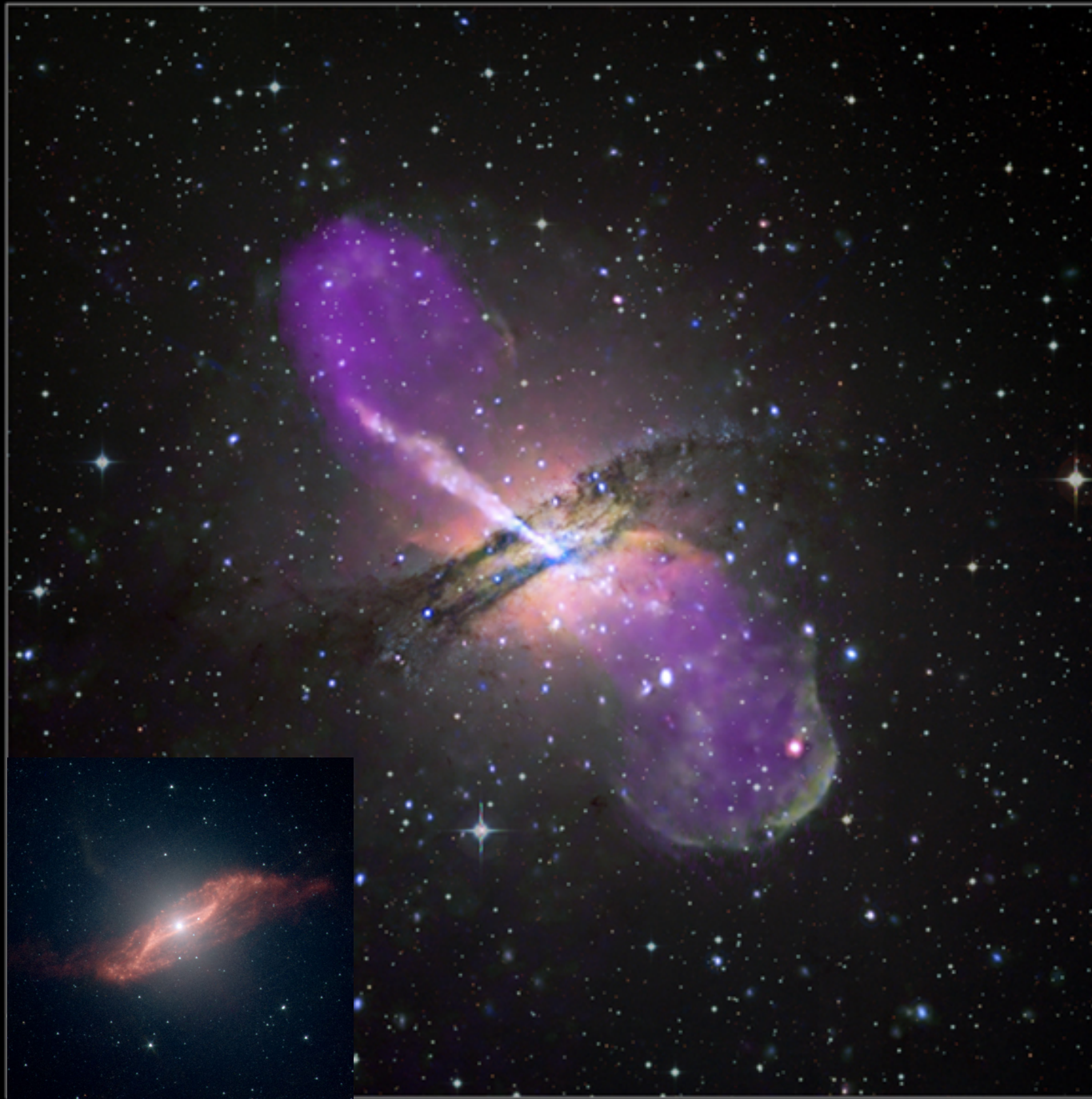
Onde Elettromagnetiche (“LUCE”)

Grande varietà di comportamenti per un unico fenomeno

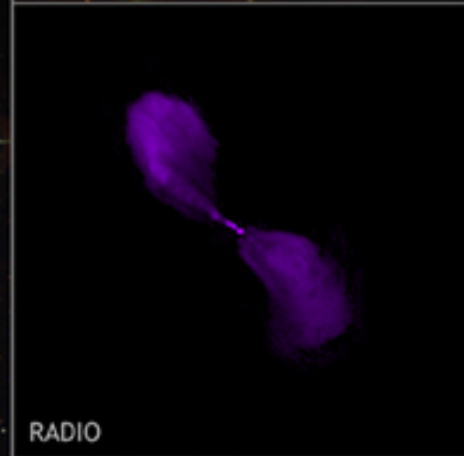
Lunghezza d'onda - frequenza, energia

Atmosfera trasparente ad alcune bande, opaca ad altre

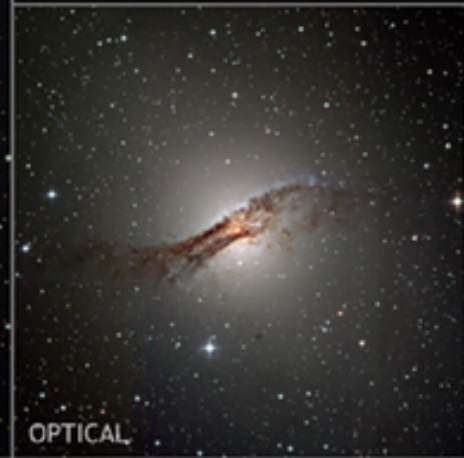
Osservazioni astronomiche in tutte le bande dello spettro



X-RAY

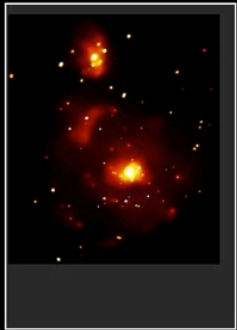


RADIO

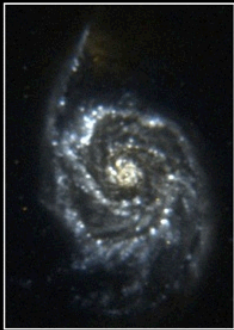


OPTICAL





X ray



UV



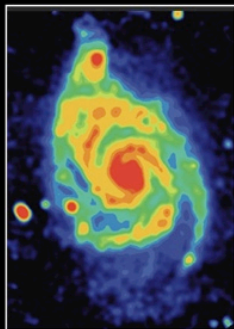
Optical



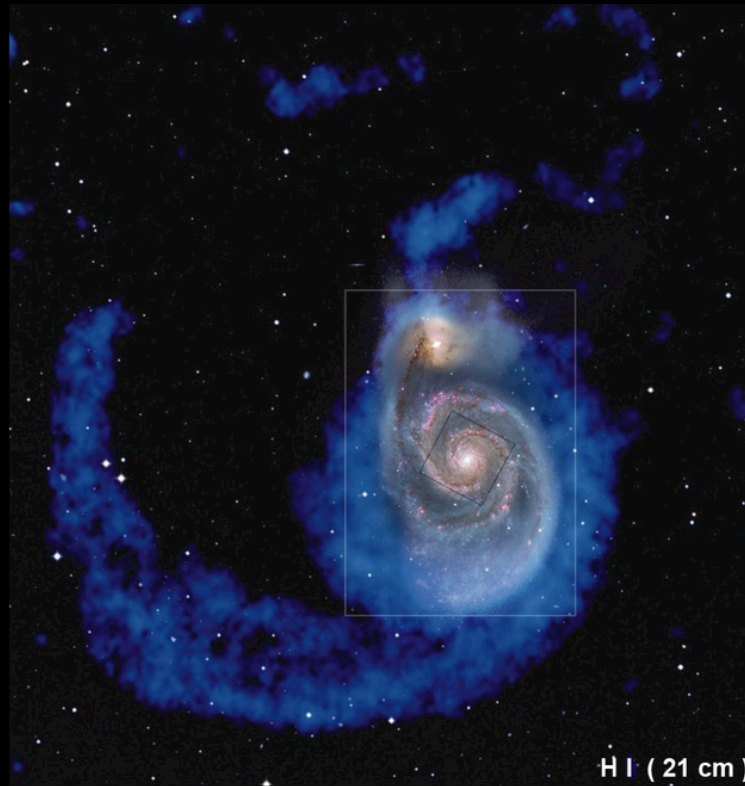
NIR



MIR



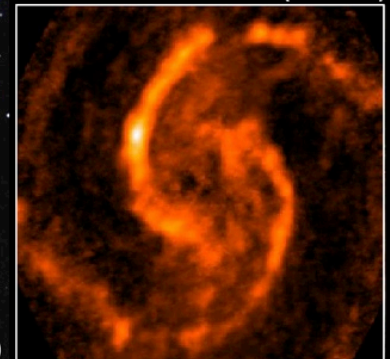
Radiocontinuum



HI (21 cm)



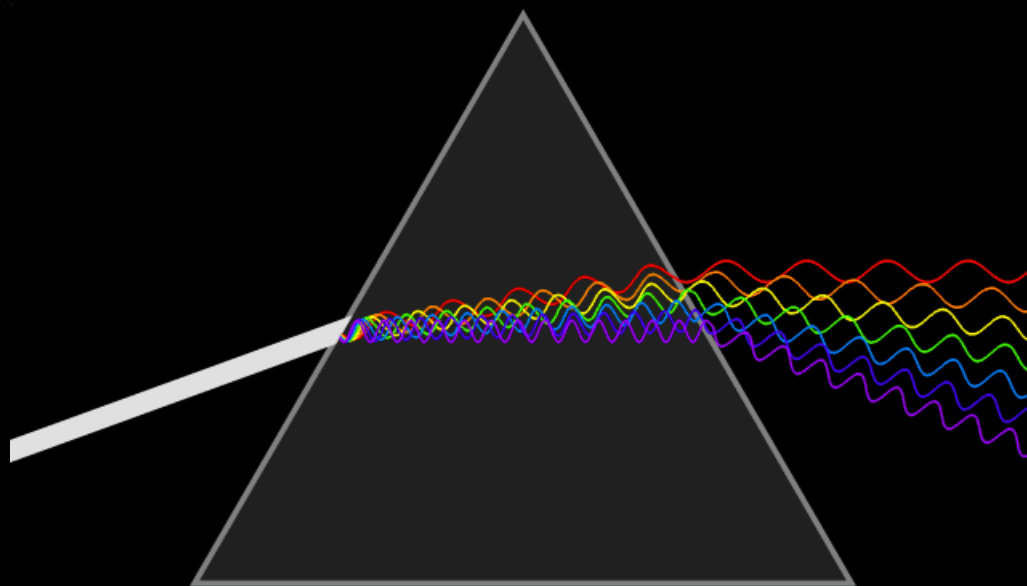
Optical (HST)



CO (2.6 mm)



Grazie per l'attenzione e
Buon Anno Internazionale
della Luce !



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015