

Astronomia Senza la Luce

Stefano Spagocci

GACB



Introduzione

- L'astronomia, per ovvie ragioni, fino ad alcuni decenni fa si è basata sulle osservazioni (successivamente anche fotografia e fotometria) nella banda del visibile.
- Negli ultimi decenni, però, si sono anche affermate astronomie che si basano sulle componenti non visibili dello spettro elettromagnetico e astronomie non basate sullo spettro elettromagnetico.
- Alla prima categoria di astronomie è dedicata questa conferenza.



Radiation Type	Gamma Ray	X-ray	Ultraviolet	Visible	Infrared	Microwave	Radio
Wavelength (m)	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	5×10^{-6}	10^{-5}	10^{-1}	10^3



About the Size of Atomic Nuclei Atoms Molecules Protozoans Pinpoint Honey Bee Humans Buildings

Short wavelength
High energy
High frequency



Long wavelength
Low energy
Low frequency



Onde Radio

- L'astronomia delle onde radio (radioastronomia) fu fondata da K. Jansky.
- Jansky era un ingegnere alle dipendenze della Bell Telephone Company e fu incaricato di studiare i disturbi alle comunicazioni radio.
- Si accorse (1933) che un misterioso segnale proveniva dal cielo (costellazione del Sagittario) con una periodicità pari al periodo di rotazione della Terra.



Onde Radio

- Si trattava del centro della Via Lattea, la nostra galassia.
- Janski pubblicò le sue osservazioni ma non fu preso seriamente, tranne che dall'altro ingegnere e fondatore della radioastronomia, G. Reber.
- Reber, con un radiotelescopio autocostruito ed osservando nel tempo libero, riuscì a costruire (1944) la prima mappa radio del cielo.

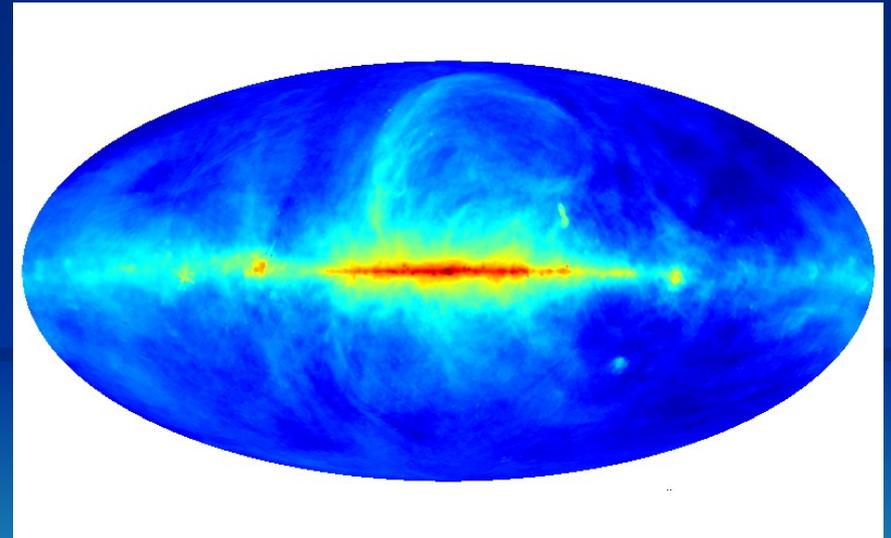
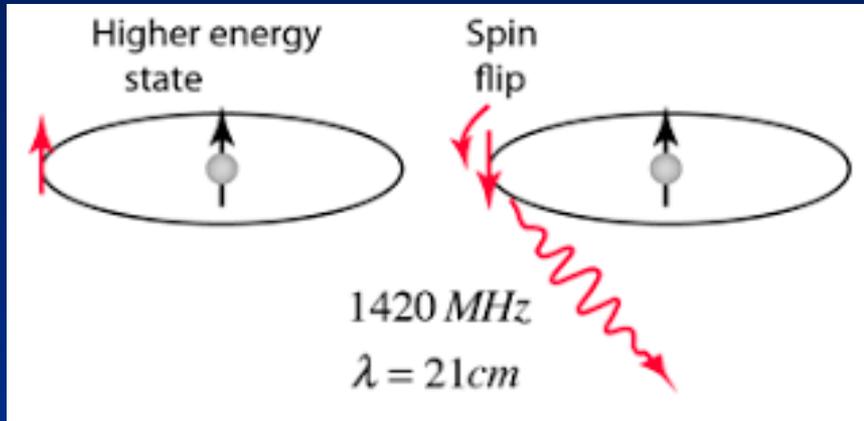


Onde Radio

- Nel 1940 J. Oort (il primo astronomo a prendere seriamente Jansky e Reber) realizzò la prima mappa della Via Lattea nella famosa radiazione a 21 cm (vd. slide seguente).
- Martin Ryle (fine anni '40) ebbe l'idea di combinare il segnale di più radiotelescopi, realizzando così un radiotelescopio equivalente con un diametro molto più grande dei singoli componenti. Era nata l'interferometria.



La Radiazione a 21 Cm



Quasar

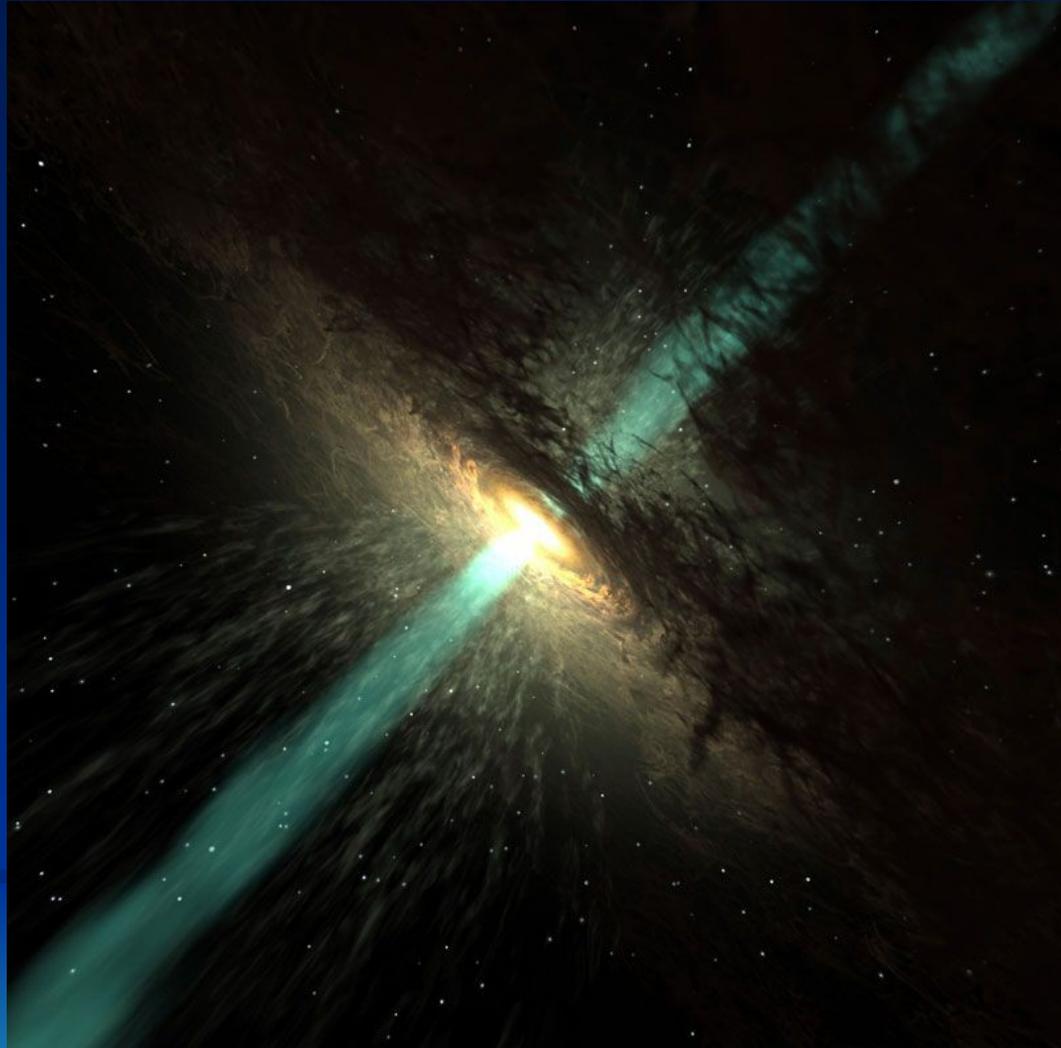
- Oltre alla radiazione a 21 cm, un'importante sorgente di onde radio è la radiazione di sincrotrone, emessa da particelle che accelerano in un campo magnetico.
- I quasar sono nuclei galattici attivi, nei quali gas e polveri sono attratti dal buco nero al centro della galassia, emettendo (tra le altre) radiazione di sincrotrone.

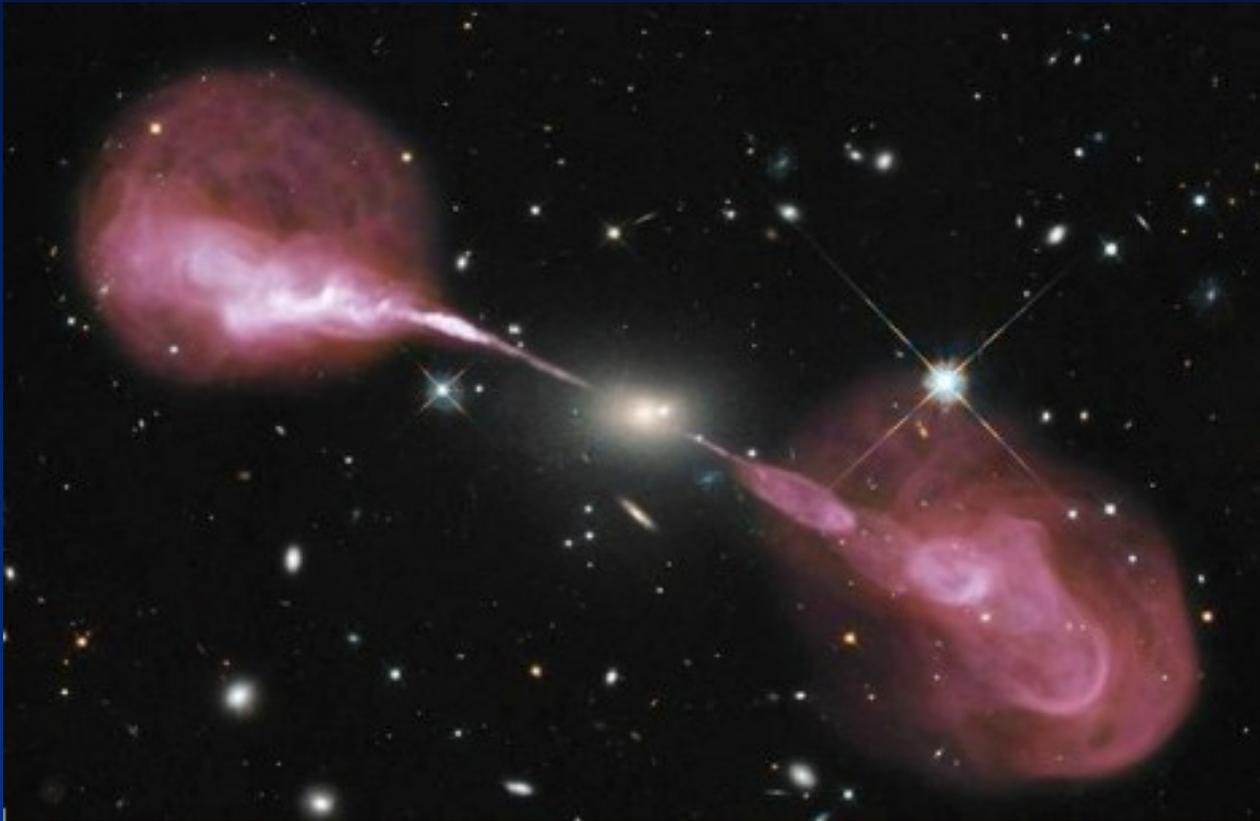


Quasar

- A. Sandage (1960-1963) aveva osservato oggetti dall'apparenza stellare che però mostravano misteriose linee spettrali (tra cui l'oggetto battezzato 3C 48).
- Nel 1963 M. Schmidt, osservando l'oggetto battezzato 3C 273, scoprì che si trattava di “normalissime” linee spettrali, fortemente spostate verso il rosso a causa dell'enorme distanza di questi oggetti.





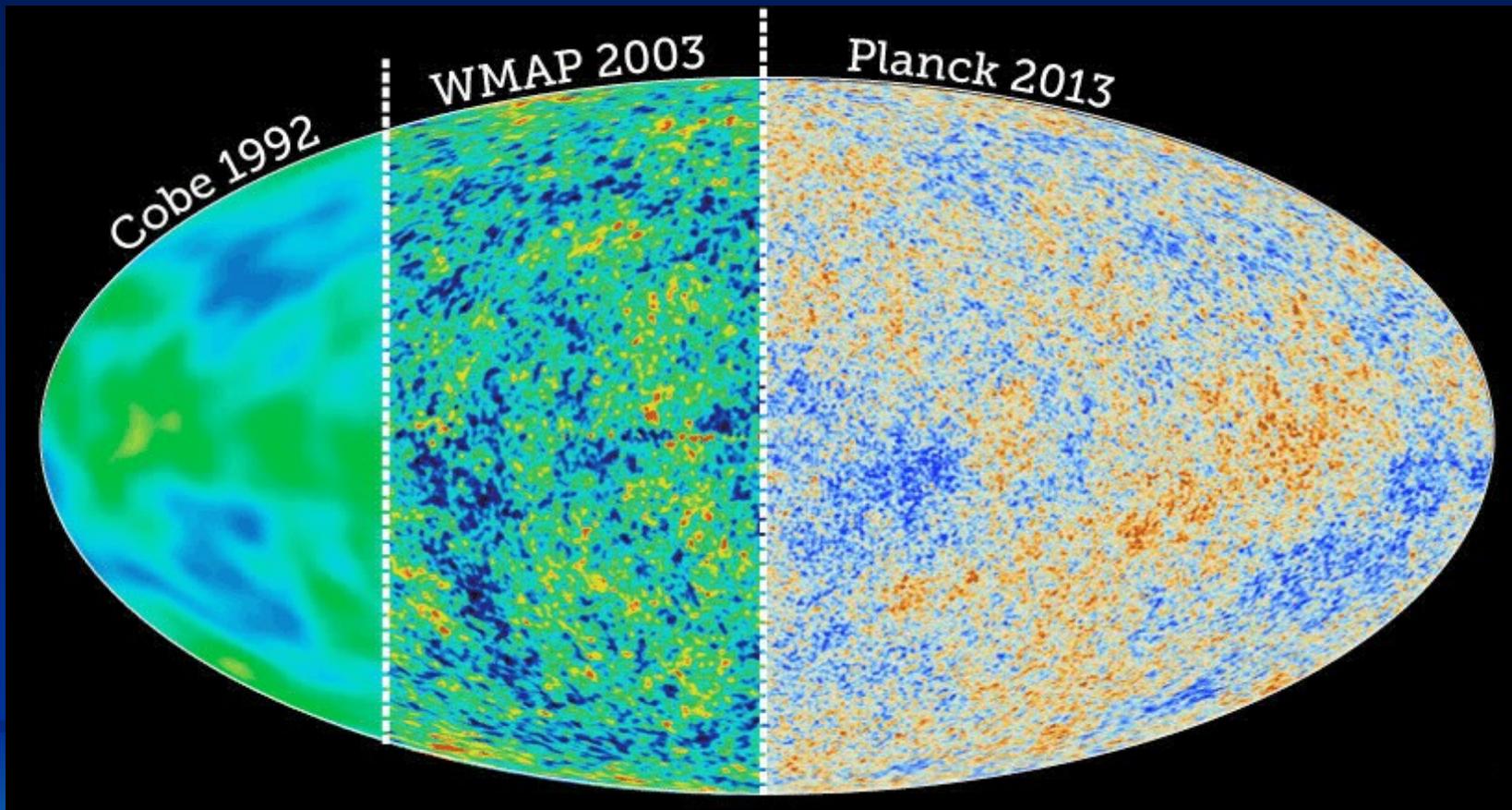


Al centro delle radiogalassie è situato un buco nero di massa dell'ordine di 1 milione/1 miliardo di masse solari, circondato da un disco di accrescimento con due getti di particelle che emettono radiazione di sincrotrone.

La Radiazione a 3 K

- A. Penzias e R. Wilson, nel 1965, scoprirono per caso che l'Universo è permeato di radiazione a microonde che corrisponde all'emissione che avrebbe un corpo alla temperatura di circa 3 gradi Kelvin (pari a circa -270 gradi Celsius).
- Tale radiazione è un residuo dell'epoca in cui, circa 380000 anni dopo il Big Bang, protoni, neutroni ed elettroni si riunirono in atomi e i fotoni furono liberi di diffondersi.





Pulsar

- Nel 1965 J. Bell, studentessa di PhD che aveva come supervisore A. Hewish, per caso scoprì un segnale radio che si ripeteva con una periodicità di 1.3 sec.
- Si pensò ad un radiofaro di una civiltà extraterrestre ma poi, grazie all'opera di scienziati quali Robert Oppenheimer, George Volkoff (precedenti alla scoperta delle pulsar) e Franco Pacini, si scoprì trattarsi di stelle di neutroni in rotazione, circondate da un disco di polveri e gas che, interagendo col campo magnetico della stella, dà origine ad un fascio di radiazione, nei casi più fortunati rivolto verso la Terra.





La Nebulosa del Granchio, resto di una supernova esplosa nel 1054 d.C. e avente al centro una pulsar.

Grandi Radiotelescopi

- Prima del 2016 il più grande radiotelescopio era Arecibo (diametro 305 m), purtroppo non più riparato dopo essere collassato per incuria nel 2020.
- Il più grande radiotelescopio è oggi il “gigante” cinese FAST (500 m di diametro).
- Tra gli interferometri citiamo ALMA (altopiano di Atacama, Cile, 66 antenne) e il futuro SKA (Square Kilometer Array) che si comporrà di migliaia di antenne, site in Australia e Sudafrica.







Infrarossi

- La radiazione infrarossa fu scoperta da W. Herschel (1800) che, misurando la temperatura dei vari colori della luce scomposta da un prisma, si accorse dell'esistenza di una invisibile radiazione “calda” a un estremo dello spettro.
- Ogni corpo, per il solo fatto di avere una temperatura, emette radiazioni elettromagnetiche centrate su una frequenza tanto più alta quanto più alta è la sua temperatura. I corpi a temperatura ambiente emettono uno spettro centrato sugli infrarossi.



Infrarossi

- Nel XIX secolo/inizi del XX vi furono parecchi tentativi di rivelare la radiazione infrarossa stellare (inizialmente erano usate termocoppie, poi soppiantate da rivelatori di tipo CCD).
- Fu solo nel 1928 (E. Pettit e S.B. Nicholson) che iniziarono studi sistematici di astronomia infrarossa stellare.
- Un grande progresso fu la definizione dello standard fotometrico UVBRI (H.L. Johnson e W. Morgan, 1953-1962), ancora oggi impiegato.



Telescopi Infrarossi

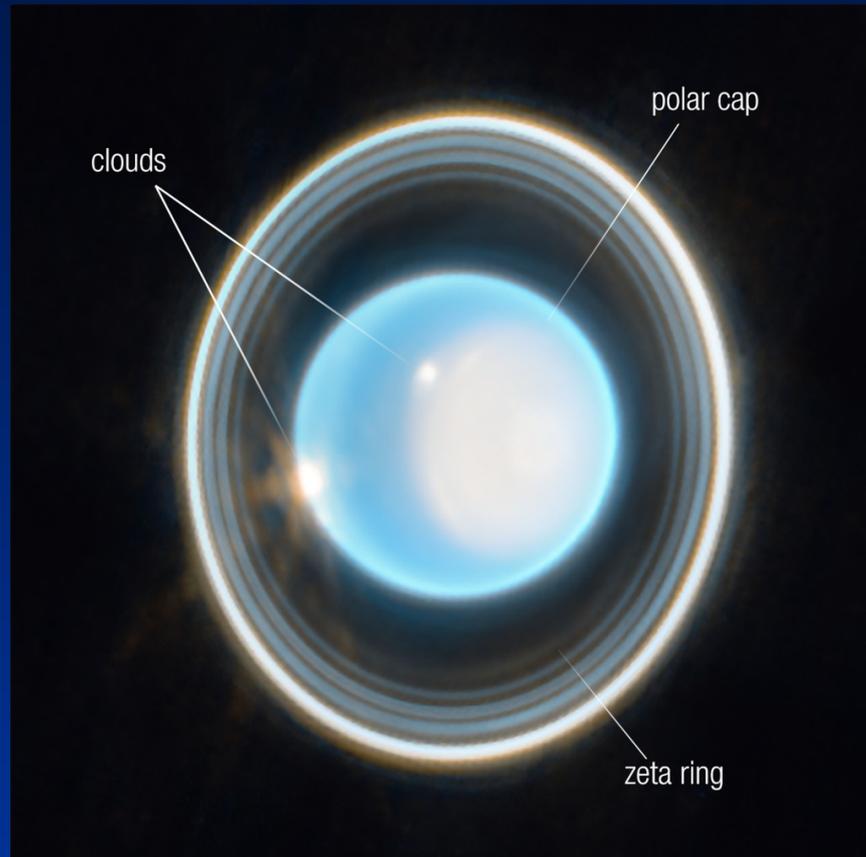
- Fra i grandi telescopi infrarossi di superficie (dalla superficie terrestre è possibile osservare solo nell'infrarosso vicino) ricordiamo il britannico UKIRT (Mauna Kea, Hawaii, 3.8 m di diametro) e VISTA (Cerro Paranal, Cile, 4.1 m di diametro).
- A causa dell'emissione termica i telescopi infrarossi devono essere raffreddati a basse temperature (spesso pochi Kelvin) o la loro stessa emissione li accecherebbe.



Telescopi IR Aviotrasportati

- Per le osservazioni IR furono importanti i telescopi aviotrasportati che permettono di contrastare (parzialmente) l'assorbimento atmosferico a costi ovviamente molto minori rispetto a quelli connessi ai satelliti IR.
- Tra i telescopi IR aviotrasportati ricordiamo il Kuiper Airborn Observatory (KAO, 1974, 0.9 m di diametro) e SOFIA, a bordo di un Boeing 747 modificato (2.7 m di diametro).





Grazie al Kuiper furono scoperti gli anelli di Urano,
l'atmosfera di Plutone e la presenza di acqua e molecole
organiche nelle comete.

Telescopi IR Spaziali

- I telescopi spaziali Hubble e Webb operano anche nell'infrarosso (il JWST principalmente).
- Tra i telescopi spaziali dedicati al solo IR ricordiamo poi IRAS (1983, 60 cm di diametro), Spitzer (2003, 85 cm di diametro), Herschel (2009, 2.5 m di diametro) e l'ancora attivo WISE/NEOWISE (2009, 40 cm ma a grande campo), dedicato ad un monitoraggio completo del cielo infrarosso.





Tra gli oggetti “freddi” che emettono IR troviamo le nubi di polvere, le protostelle, le nane rosse (~ 1000 K) e gli esopianeti.

Cosmologia e Comete IR

- Le galassie più lontane sono talmente spostate verso il rosso da emettere prevalentemente in IR. Tale fatto è sfruttato da telescopi quali Spitzer o Webb.
- Ricordiamo poi che nell'infrarosso emettono anche le comete, tanto che alcune comete sono state scoperte da satelliti IR. A tal proposito citiamo la Iras-Araki-Alcock e la NEOWISE.



La Cometa NEOWISE



Ultravioletti

- I raggi ultravioletti furono scoperti da J.W. Ritter (1801) in maniera simile alla scoperta di Herschel, con la differenza che la rilevazione avvenne per mezzo di una (primitiva) lastra fotografica.
- E' proprio nell'ultravioletto che si situano alcune delle principali linee spettrali dell'idrogeno (serie di Lyman). Fu infatti T. Lyman (1906-1914) a studiarle.



Ultravioletti

- Fu poi L. Spitzer (da cui il già citato telescopio IR) a svolgere studi sistematici di spettroscopia stellare UV.
- Negli anni Settanta furono effettuate diverse campagne di osservazione con palloni o razzi.
- E' solo allora che, in un esperimento da pallone, si poterono rilevare le linee Lyman del Sole.



Telescopi UV Spaziali

- Tra i telescopi UV spaziali citiamo Copernicus (1972, 80 cm di diametro), International Ultraviolet Explorer (IUE, 1978, 45 cm di diametro), FUSE (1999, 4x35 cm di diametro, dedicato all'UV lontano), GALEX (Galaxy Evolution Explorer, 2003, 50 cm di diametro) e il giapponese, tuttora operativo, Hisaki (2013, estremo UV, 20 cm di diametro, dedicato al Sistema Solare). Non vanno poi dimenticati gli esperimenti compiuti dalla Stazione Spaziale Internazionale, dallo Space Shuttle e la capacità di compiere osservazioni UV da parte di Hubble.



Emissioni UV Stellari

- Stelle più calde del Sole hanno il picco di emissione nell'UV, la serie di Lyman si situa nell'UV e il Sole emette anche nell'ultravioletto (i raggi UV sono quelli che ci fanno abbronzare).
- Le stelle con temperatura superiore a 10000 K emettono principalmente nel blu e nell'ultravioletto.



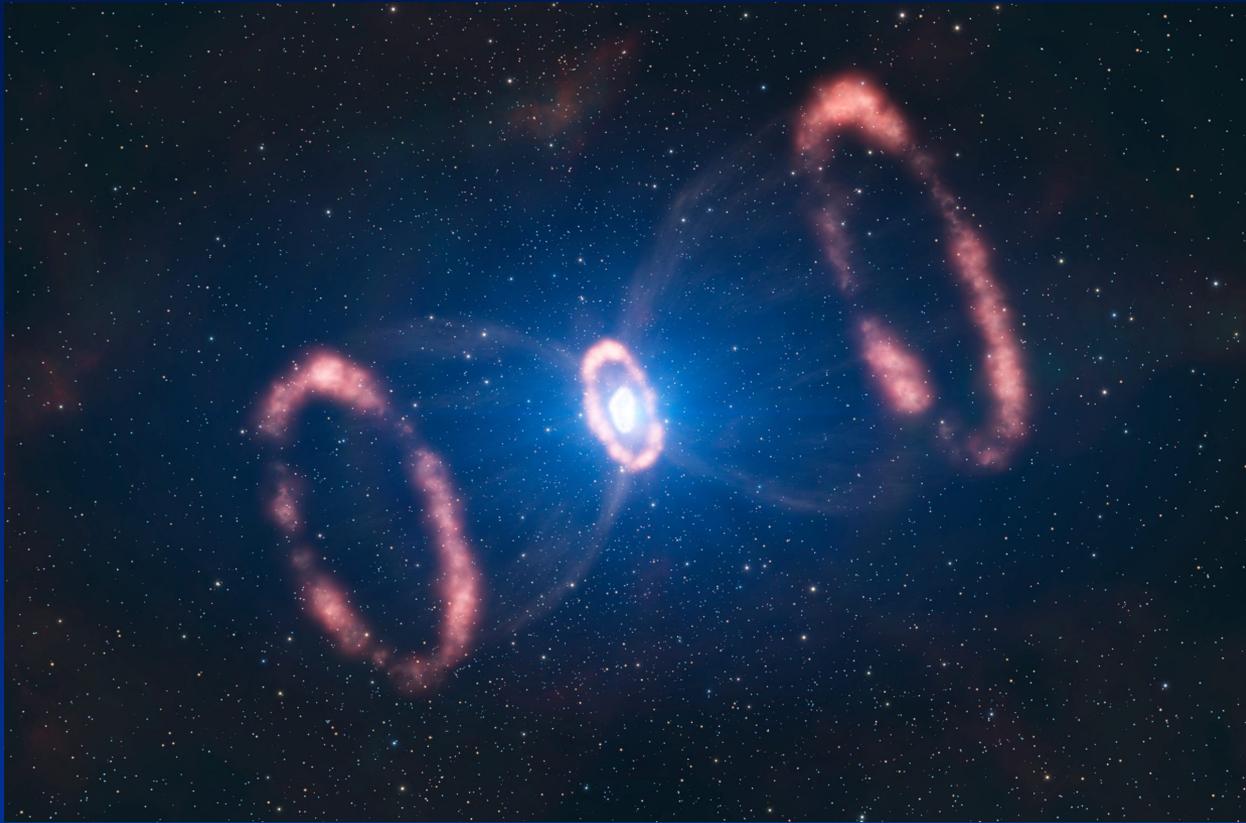


Grazie ad IUE fu possibile determinare la perdita di polveri e gas da parte della cometa di Halley.

Osservazioni UV

- IUE permise anche di scoprire molte nane bianche. Nelle nane bianche, infatti, il nucleo stellare rimane "nudo" e si raggiungono temperature di 100000 K.
- Si poterono poi studiare i potenti venti stellari emessi dalle stelle di più grande massa.





Da IUE fu studiata anche la supernova SN 1987A, scoprendo che la sua progenitrice era una gigante rossa, poi evoluta in gigante blu.

Osservazioni UV

- Furono studiate le nubi di gas della Via Lattea (le nubi di polvere emettono significativamente nell'IR, le nubi di gas nell'UV).
- Furono anche studiati i nuclei galattici attivi, scoprendo che la loro variazione di luminosità è più marcata nell'UV rispetto al visibile e all'IR.



Cosmologia UV

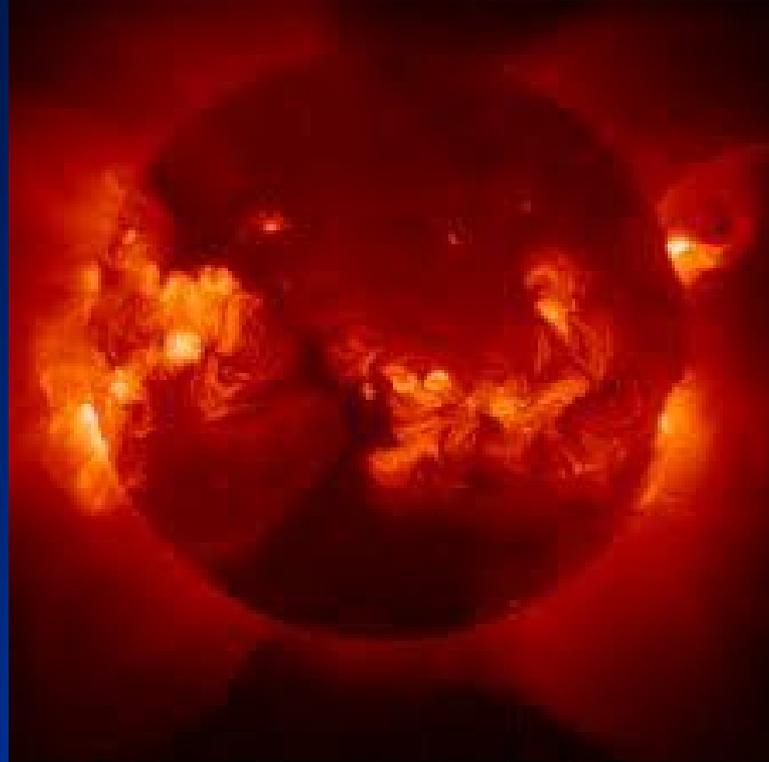
- Con il già citato osservatorio satellitare FUSE fu possibile misurare l'abbondanza del deuterio rispetto all'idrogeno. La misura di tale abbondanza percentuale costituisce un significativo test della teoria del “Big Bang caldo”. I risultati non sono però stati conclusivi.



Raggi X

- I raggi x furono scoperti per caso (1895) da W.C. Röntgen. Egli, infatti, ottenne per caso (si era interposto a un fascio di raggi catodici) una propria "radiografia".
- I primi esperimenti di rilevazione dei raggi x furono compiuti subito dopo la Seconda Guerra Mondiale da H. Friedman che utilizzò delle ex V-2 per trasportare in quota dei contatori Geiger.





Le prime osservazioni x si rivolsero al Sole che emette a causa della corona (temperatura di milioni di gradi). Il suo riscaldamento è forse dovuto a onde magnetiche e acustiche espulse dall'astro.



Pionieri dei Raggi X

- Pionieri dell'astronomia x furono i nostri B. Rossi e il genovese/milanese R. Giacconi (che per questo vinse il Nobel per la Fisica nel 2002).
- Rossi ispirò il lavoro del più giovane Giacconi. Giacconi compì il meglio dei suoi studi lavorando per la American Science and Engineering, produttrice di equipaggiamenti x.



Pionieri dei Raggi X

- Giacconi compì i suoi primi studi sperimentali (1962) con rivelatori x a bordo di un razzo Aerobee (volo di 6 minuti).
- Egli fu anche determinante per la costruzione del satellite x Uhuru (“libertà” in Swahili), lanciato nel 1970 dalla base di lancio italiana di Malindi, in Kenia. Uhuru studiò l'emissione x di resti di supernovae e galassie.



Pionieri dei Raggi X

- Giacconi fu anche pioniere dell'ottica x (detta "ad incidenza radente") che fu adottata a partire dal satellite Einstein (vd. più avanti).
- Grazie all'opera di Giacconi e collaboratori fu possibile scoprire i primi sistemi interagenti con al centro una stella di neutroni (Scorpius X-1) e un buco nero (Cygnus X-1).



Cygnus X-1



Sco X-1 e Cyg X-1

- Giacconi e Rossi avevano previsto che ci fosse poco da osservare nella banda x. La sorgente più promettente sarebbe stata addirittura la Luna.
- L'esperimento a bordo di un Aerobee (1962) non registrò emissioni x lunari ma in compenso scoprì la sorgente Scorpius X-1, di cui in seguito fu trovata la controparte ottica.

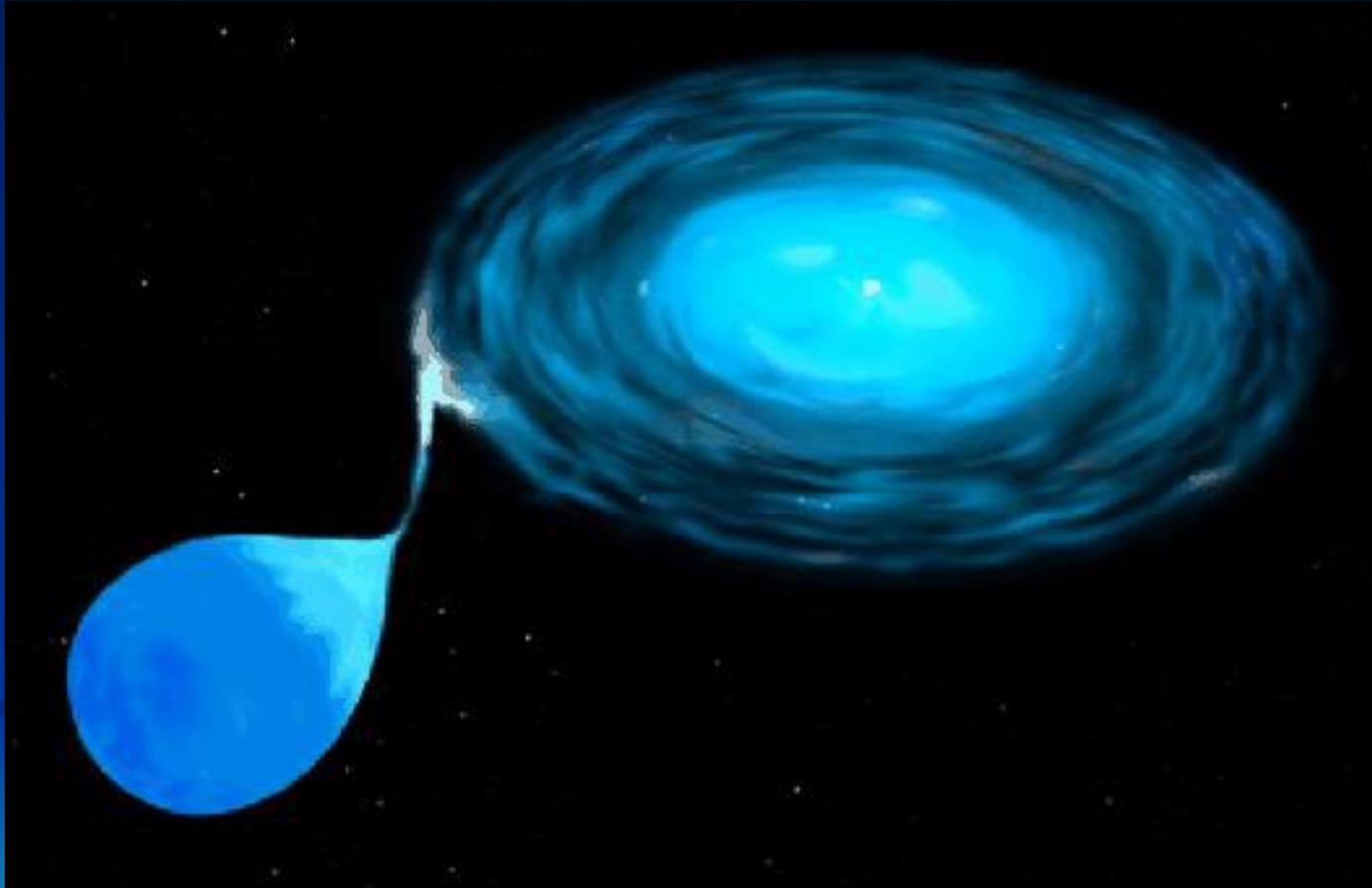


Sco X-1 e Cyg X-1

- Cygnus X-1 fu invece scoperta nel 1964, in un esperimento su razzo del Naval Research Laboratory. Un modello per Cygnus X-1 fu elaborato grazie alle osservazioni del già citato Uhuru.
- Nel 1967 il russo I. Shklovsky elaborò un modello di Scorpius X-1. Si tratta di un sistema binario (periodo 19 h) composto da una stella di neutroni e una stella di massa pari al 40% di quella solare.



Scorpius X-1



Sco X-1 e Cyg X-1

- Cygnus X-1, di cui furono trovate la controparte radio, ottica e ultravioletta, si rivelò essere un sistema binario (periodo 5.5.d) costituito da una gigante blu con una temperatura di 31000 K e una massa di 20 masse solari e un buco nero di 15 masse solari (proprio dalla grande massa del compagno invisibile si dedusse trattarsi di un buco nero).

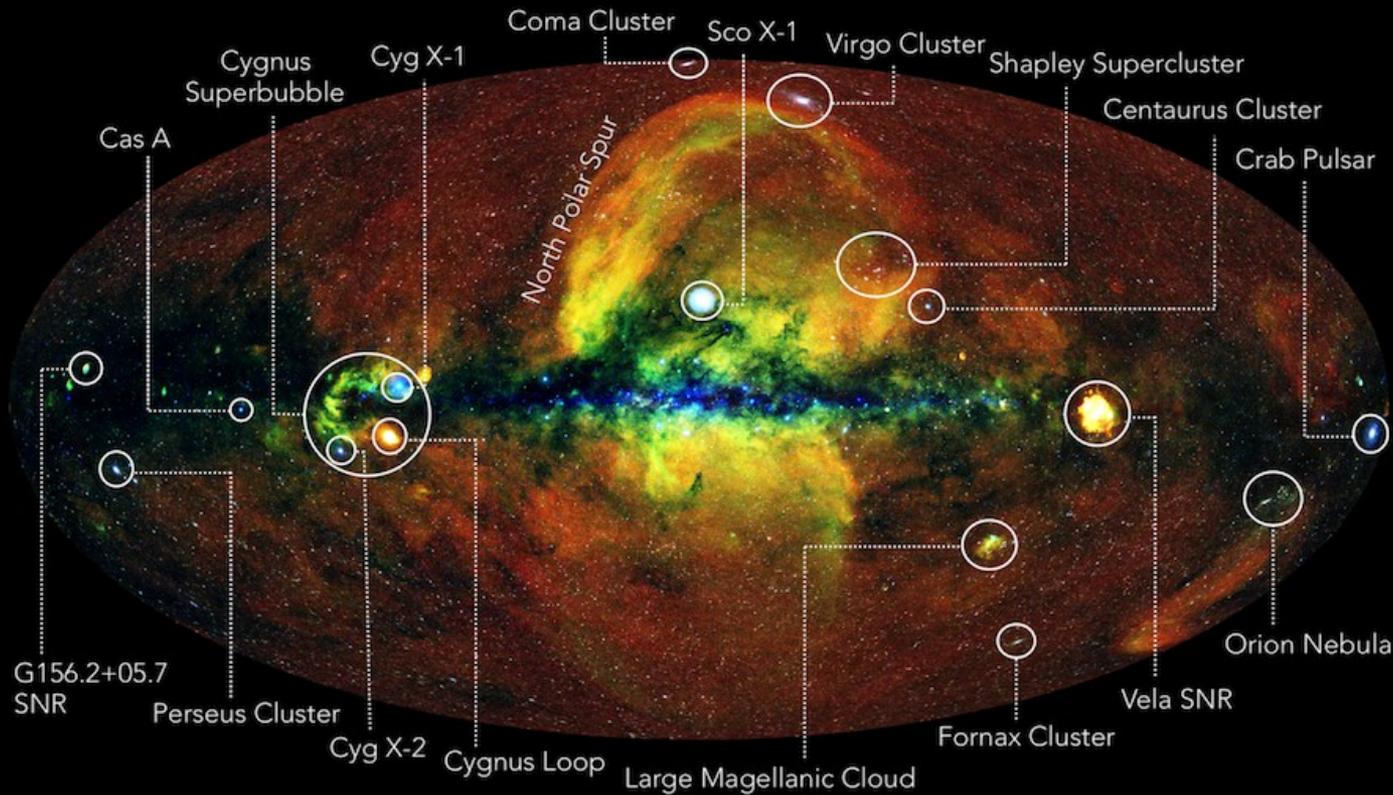


Sco X-1 e Cyg X-1

- In entrambe i sistemi binari stretti la compagna invisibile (rispettivamente una stella di neutroni e un buco nero) "strappa" materia alla stella visibile. Attorno alla compagna invisibile si forma un disco di accrescimento rotante che, a causa dell'attrito viscoso, raggiunge temperature di milioni di gradi, emettendo raggi x di origine termica e non (Compton).



Navigating the eROSITA X-ray sky



IKI

SRG/eROSITA 0.3-2.3 keV - RGB Map

MPE

Satelliti X

- Abbiamo già citato Uhuru (1970, contatori proporzionali). Tra gli altri satelliti x citiamo Einstein (1978, 60 cm di diametro, che permise studi su resti di supernova, pulsar e galassie attive), il tedesco ROSAT (1990, 84 cm di diametro) e i tuttora attivi Chandra X-Ray Observatory (1999, 1.2 m di diametro) e XMM-Newton (1999, 3x70 cm di diametro).



Satelliti X

- Ricordiamo poi il tuttora attivo strumento russo/tedesco eROSITA (2019, 7 specchi per complessivi 1.9 m di diametro) che ha permesso di ottenere una mappa x più completa di quella di ROSAT.
- Tra le missioni future citiamo l'europeo ATHENA, con uno specchio di 3 m di diametro e 10 volte più sensibile di Chandra e XMM-Newton.



Chandra e XMM-Newton



Raggi γ

- I raggi γ sono le radiazioni e.m. i cui fotoni hanno la maggior energia. A parità di potenza emessa da un corpo celeste, quindi, per unità di tempo sono emessi molti meno fotoni γ rispetto ad altre radiazioni e.m. (analoghe considerazioni valgono per i raggi x).
- Solo nelle supernovae si generano temperature tali da portare a uno spettro di emissione termica centrato sui raggi γ . Le emissioni γ , dunque, sono per lo più non termiche.



Raggi γ

- Il Sole emette raggi γ per la stessa ragione per cui emette (dalla corona e nei brillamenti) raggi x.
- Raggi γ sono emessi in conseguenza di decadimenti radioattivi (a tal proposito menzioniamo l'Alluminio 26 generato nelle esplosioni di supernova).
- Radiazioni γ provengono dal decadimento del pione neutro e (si pensa) dal decadimento dei neutralini, ipotetici componenti della materia oscura.
- Radiazioni γ sono emesse per radiazione di sincrotrone e nella fusione nucleare nel nucleo delle stelle (ma tali fotoni non riescono a sfuggire all'astro).



Satelliti γ

- Il primo lavoro sull'emissione γ fu pubblicato nel 1958 da P. Morrison.
- Il primo satellite γ fu Explorer 2 (1961) che riuscì a catturare 22 fotoni γ .
- Seguirono OSO-3 (1968) che mostrò che i raggi γ cosmici provengono in maggioranza dal Sole e dal piano galattico
- SAS-2 (1972) rivelò invece, tra le altre, l'emissione γ della Pulsar del Granchio e di quella delle Vele.



Pulsar delle Vele



Satelliti γ

- Un importante satellite γ fu COS-B (1975) che permise di identificare 25 sorgenti γ e dimostrare (attraverso 3C 273) che anche i quasar emettono nel γ .
- Il Compton Gamma Ray Observatory (1991) permise di rivelare altre 271 sorgenti γ . Quelle sul piano galattico furono identificate soprattutto come pulsar, quelle fuori dal piano prevalentemente come nuclei galattici attivi (blazar, cioè quasar di più alta energia).



Satelliti γ

- Importanti satelliti γ sono poi stati il russo/europeo INTEGRAL (2002), l'italiano AGILE (2007), il tuttora operante Fermi (2008) che produsse un catalogo di 5000 sorgenti, il tuttora operante Swift. Questi satelliti hanno compiuto importantissime osservazioni di pulsar, nuclei galattici attivi e Gamma Ray Burst.



Fermi



Gamma Ray Burst

- Nel 1967 furono lanciati i satelliti Vela che dovevano monitorare eventuali esplosioni atomiche clandestine dall'URSS.
- Una serie di strani impulsi in x e γ fu rivelata, in quell'anno, da tali satelliti.
- La breve durata di tali impulsi convinse gli astrofisici che si trattasse di fenomeni cosmici non meglio definiti (1973) .



Gamma Ray Burst

- Il satellite Compton si dedicò, tra le altre cose, a monitorare il cielo alla ricerca di nuovi Gamma Ray Burst. Ne rilevò circa uno al giorno.
- Provenendo i GRB da tutte le direzioni in cielo, si capì che la loro origine è extragalattica.
- Il satellite italo-olandese BeppoSAX (1997) fu dedicato al monitoraggio dei Gamma Ray Burst e permise di stabilirne definitivamente la natura extragalattica.



Gamma Ray Burst

- Il modello in voga per i GRB è quello della fireball. Si suppone, cioè, che nell'evento iniziale (nel quale, in pochi secondi, è emessa tanta energia quanta ne emette il Sole in tutta la sua vita) il gas espulso a gran velocità provochi delle onde d'urto, suddivise in vari gusci. I gusci più veloci collidono con i più lenti e le relative particelle accelerano, emettendo radiazione di sincrotrone. Quando un guscio incontra il gas interstellare si provoca poi il lampo finale (afterglow) del GRB.

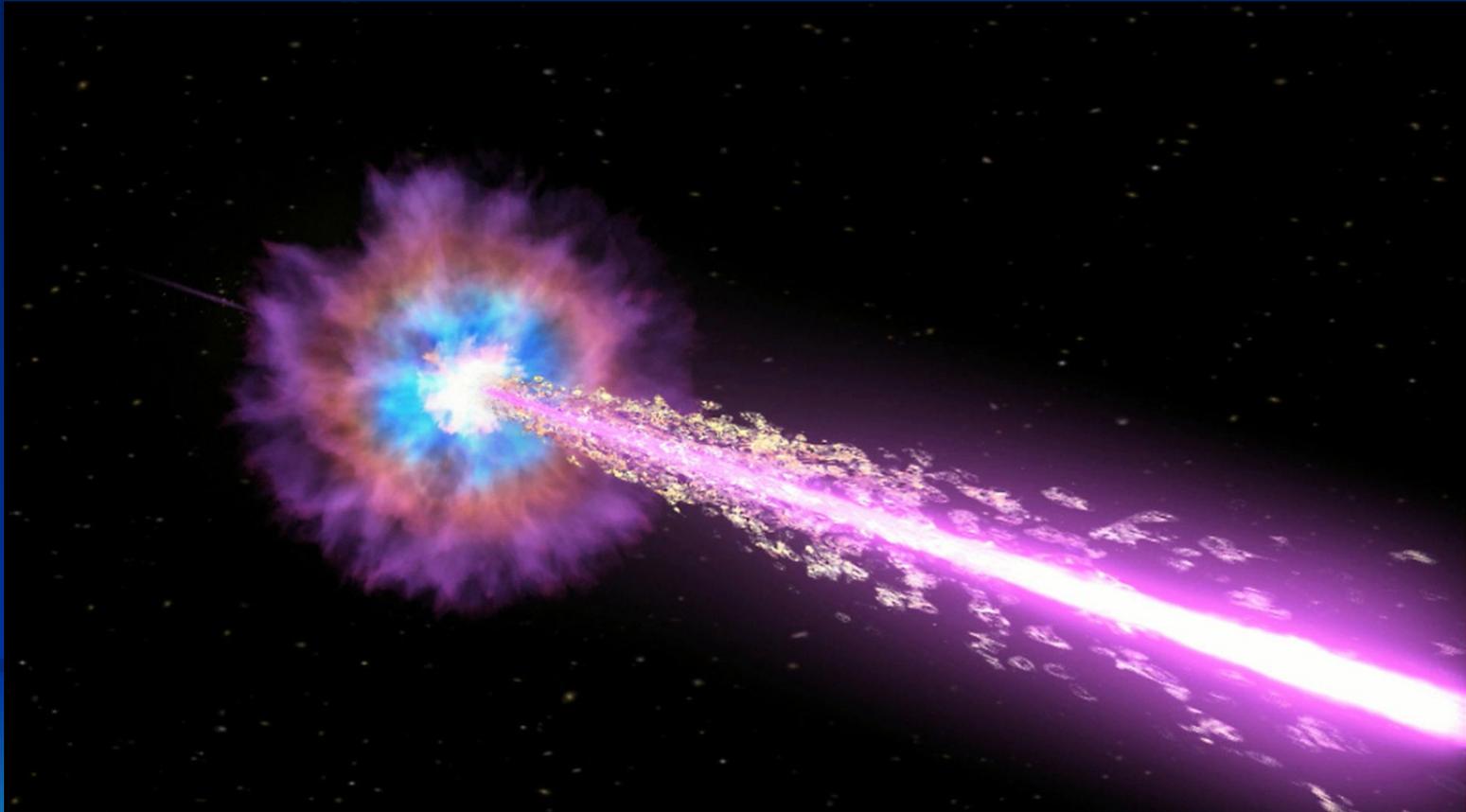


Gamma Ray Burst

- I Gamma Ray Burst si dividono in brevi (durata inferiore ai 2 secondi) e lunghi (durata superiore ai 2 secondi).
- I Gamma Ray Burst corti si pensa derivino dallo scontro di due stelle di neutroni, i Gamma Ray Burst lunghi potrebbero derivare dal collasso di stelle massive.
- Il fenomeno, comunque, non è ancora pienamente compreso, nonostante gli sforzi teorici e sperimentali profusi.



Gamma Ray Burst



Telescopi Čerenkov

- Una particella carica che si muova, in un certo mezzo, a una velocità superiore alla velocità della luce in quel mezzo, emette un lampo di luce blu e UV detta “luce Čerenkov”.
- Raggi γ di alta energia, collidendo con le molecole atmosferiche, generano coppie elettrone/positrone, le quali irradiano γ di minore energia e così via a cascata. Si genera quindi uno sciame, le cui componenti cariche emettono luce Čerenkov.



Telescopi Čerenkov

- La luce Čerenkov di uno sciame può essere rilevata da telescopi con specchi di diametro dell'ordine dei 10 metri. Si può così determinare la provenienza del γ .
- Gli osservatori Čerenkov tuttora attivi sono MAGIC (La Palma, Canarie, 2x17 m di diametro), HESS (Namibia, 4x12 + 1x28 m di diametro) e VERITAS (Arizona, 4x12 m di diametro).



Cielo in Raggi γ (Fermi)

