

L'Universo tascabile

# L'universo delle alte energie



Mimoza Hafizi  
Università di Tirana



*Nella costellazione Cassiopea le cinque stelle più brillanti sono disposte a forma di W. Sono fino a mille volte più luminose del nostro Sole, ma non emettono radiazioni ad alta energia.*

*Nell'astrofisica delle alte energie si utilizzano strumenti speciali in grado di rilevare i raggi UV, X e gamma rilasciati da alcuni oggetti celesti. I fotometri misurano la quantità di luce proveniente da questi oggetti e ci forniscono una misurazione accurata dell'energia totale che rilasciano.*

*Molti oggetti con emissioni ad alta energia non sono rilevabili in luce visibile.*

2

Anche ad occhio nudo possiamo notare che alcuni corpi celesti sono più luminosi di altri. Sono più vicini a noi e quindi sembrano più luminosi oppure emettono più energia?

Gli astronomi sanno come misurare la distanza di molti corpi celesti, in modo da poter calcolare l'energia che emettono nella luce visibile.

Attraverso speciali rivelatori di alta energia, riescono anche a misurare l'energia invisibile all'occhio umano, essendo emessa da fotoni (raggi UV, X e gamma\*) e particelle ad alta energia (neutrini, raggi cosmici) e onde gravitazionali.

Alcuni oggetti con emissioni ad alta energia, come le supernove, le stelle di neutroni, i buchi neri o i nuclei galattici attivi, rilasciano enormi quantità di energia, irradiandone miliardi di volte in più del nostro Sole.

\*vedi TUIMP 2

3

## Supernove

Che sorpresa se guardando il cielo, tutt'a un tratto vedessi brillare una stella dove prima non c'era nulla! Forse esclameresti: «È nata una nuova stella!» O in latino, una nova! Oppure, se la nuova luce è estremamente brillante, una supernova! La prima volta accadde nel 1054, quando gli astronomi cinesi osservarono una stella ospite.\* In realtà, la luce non segnala la nascita di una nuova stella, perché la supernova è una stella esistente. L'esplosione è così forte che l'energia rilasciata in pochi minuti equivale a quella dal nostro Sole nei suoi 10 miliardi di anni!

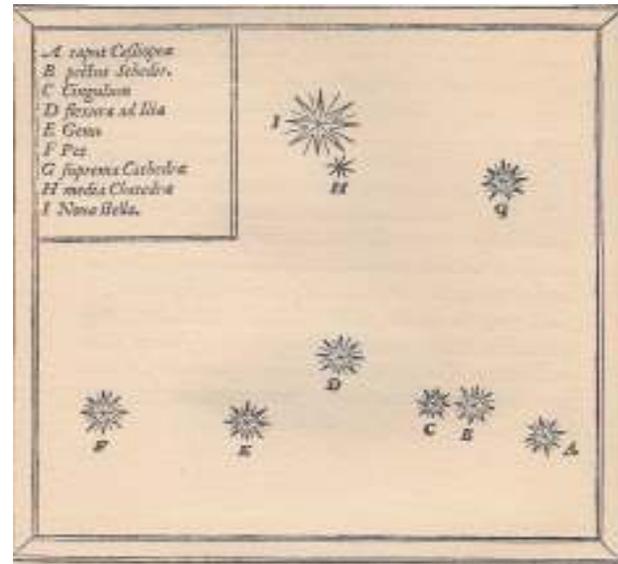
Successivamente l'esplosione si spegne e la stella non è più visibile: ciò che rimane è una stella di neutroni o un buco nero e i telescopi mostrano una grande quantità di materia che si allontana.

\*vedi TUIMP 10 5

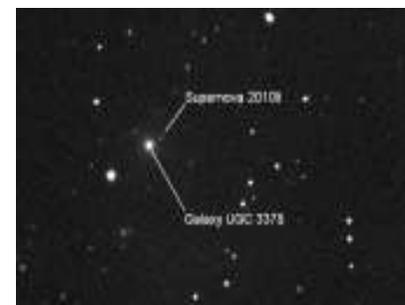
A sinistra: Nella mappa stellare di Cassiopea, l'11 Novembre del 1572

l'astronomo Tycho Brahe segnò con la lettera "I" "la stella nascente", successivamente chiamata "la supernova di Tycho". A pagina 2 della mappa Cassiopea 'F', 'E', 'D', 'C', 'B', 'A', 'G' sono stelle di lunga durata, mentre la stella "I" non è più visibile.

A sinistra: La supernova 2010td, scoperta da una bambina di dieci anni, Kathryn Gray. L'esplosione era avvenuta a 240 milioni di anni luce di distanza.



Quando apparve, la supernova di Tycho era brillante come Venere, anche se l'esplosione era avvenuta a circa 9 anni luce di distanza. Si attenuò giorno dopo giorno e dopo circa due anni non si vedeva più ad occhio nudo.



## Buchi neri

Quando una stella di massa di oltre 30 volte superiore a quella del sole esplose come una supernova, nel suo centro si forma un buco nero di diverse masse solari che si estende per qualche chilometro. Perché i buchi neri hanno un nome tanto insolito? Perché hanno un campo gravitazionale così forte cui nulla può sfuggire, né luce, né particelle! Come possiamo quindi osservarli? Dal loro effetto sull'ambiente circostante! Hanno un'enorme energia gravitazionale perché la loro massa è concentrata in una regione molto piccola. Questa energia può essere rilasciata sotto forma di onde gravitazionali. Osservate per la prima volta nel settembre 2015, le onde gravitazionali furono prodotte dalla collisione di due buchi neri.



A sinistra: un diagramma che mostra la collisione tra due buchi neri. Le increspature che si propagano come onde in una piscina rappresentano le onde gravitazionali. La prima onda gravitazionale, rilevata il 14 settembre 2015, testimonia la collisione avvenuta 1,3 miliardi di anni fa tra una coppia di buchi neri di 36 e 29 masse solari. L'energia sprigionata durante la collisione ha superato quella della luce irradiata da tutte le stelle dell'universo!

A destra: Immagine della stazione LIGO di Hanford nello stato di Washington, uno degli osservatori dove vengono rilevate le onde gravitazionali. La forma d'onda osservata corrisponde a quanto previsto dalla relatività generale di Albert Einstein.

## Neutrini

I neutrini sono particelle elementari prive di carica elettrica e con una massa molto piccola (tuttora indeterminata). È difficile individuarli perché interagiscono molto debolmente con la materia; per rilevarli sono stati effettuati alcuni importanti esperimenti sulla Terra.

I neutrini nascono dalle reazioni nucleari come quelle che avvengono al centro di una stella o negli esperimenti nucleari. Nelle esplosioni delle supernove, più del 99% dell'energia può essere rilasciata sotto forma di neutrini.

Si ritiene che i neutrini, nonostante la loro piccola massa, siano così numerosi da poter influenzare la storia dell'Universo.

A destra: L'Osservatorio IceCube Neutrino. Sotto il ghiaccio antartico sono stati collocati migliaia di sensori, distribuiti in uno spazio di un chilometro cubo per rilevare i neutrini.



8

## Stelle di neutroni

Quando esplose una stella di massa solare compresa tra 8 e 30, come una supernova, si forma una stella di neutroni. È così densa che un cucchiaino peserebbe un miliardo di tonnellate! Queste stelle sono composte da neutroni e ruotano fino a diverse centinaia di volte al secondo, accelerando le particelle presenti nell'atmosfera fino alla velocità della luce, generando un raggio che in alcuni casi può essere diretto verso la Terra rendendo queste stelle rilevabili come pulsar\*. La più veloce, PSR J1748-2446ad, ruota 716 volte al secondo! Durante l'esplosione della supernova, che determina la formazione di una stella di neutroni, oltre alla luce, un enorme flusso di neutrini lascia la stella quasi alla velocità della luce. Alcuni di questi si possono osservare sulla Terra.

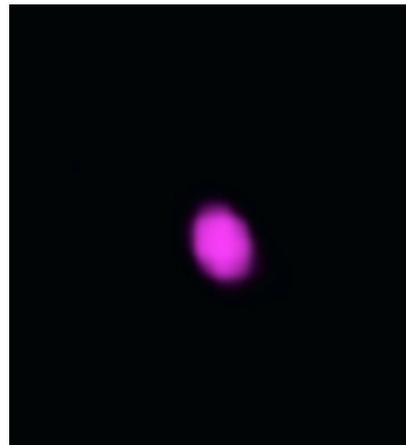
\* Vedi TUIMP 10 9



A sinistra: Il telescopio spaziale Fermi che rileva i raggi gamma, la radiazione più energetica (un milione di volte superior a quella della luce visibile).

Il 17 agosto 2017, il telescopio Fermi ha rilevato un breve lampo gamma (GRB) appena 1,7 secondi dopo che un segnale di onda gravitazionale aveva raggiunto gli osservatori della Terra. Entrambi questi segnali provenivano dalla fusione di due stelle di neutroni a distanza di 130 milioni di anni luce. In seguito, questo evento è stato osservato nei raggi X, nella luce ultravioletta e in altre bande dello spettro elettromagnetico.

A destra: Lo stesso lampo gamma visto nei raggi X dall'Osservatorio Chandra Space, 9 giorni dopo la sua esplosione.



## Lampi gamma

I lampi gamma (GRB) sono gli eventi elettromagnetici più potenti dell'universo. La loro energia può essere mille volte superiore rispetto a quella di una supernova e viene rilasciata per la maggior parte sotto forma di fotoni gamma. Nonostante siano stati scoperti 50 anni fa, la loro natura non è ancora nota.

I lampi gamma possono avere una durata breve (da pochi millisecondi ad alcuni secondi) o lunga (da alcuni secondi ad alcune ore). I lampi gamma di lunga durata sono riconducibili al collasso di una stella durante l'esplosione di una supernova. Si pensa invece che i lampi gamma di breve durata derivino dalla fusione di due stelle di neutroni o di una stella di neutroni e un buco nero.

I telescopi satellitari scoprono circa un lampo gamma al giorno.

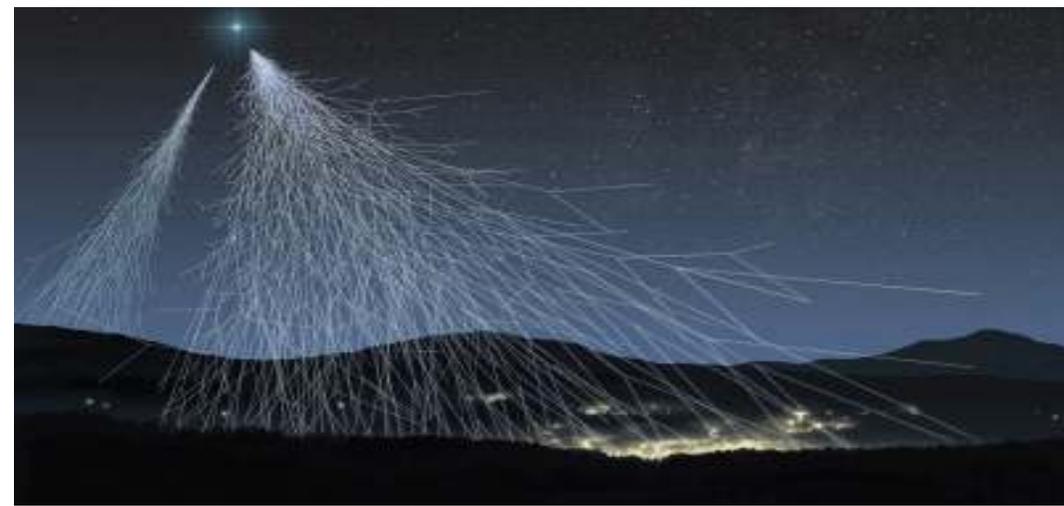
\*vedi TUIMP 2

## Raggi cosmici

Fotoni, neutrini e onde gravitazionali non sono gli unici a provenire dallo spazio. Dall'Universo delle alte energie ci arrivano anche particelle cariche: soprattutto protoni, ma anche elettroni e nuclei di atomi. Queste particelle prendono il nome di raggi cosmici. Ogni secondo, miliardi di particelle di raggi cosmici provenienti dallo spazio bombardano la Terra.

L'origine di queste particelle, scoperte all'inizio del XX secolo, è ancora sconosciuta.

Le particelle di raggi cosmici possono trasportare enormi quantità di energia e viaggiano quasi alla velocità della luce. Nei casi più estremi, la loro energia cinetica può essere miliardi di volte superiore alla loro energia di massa a riposo.



Rappresentazione artistica dell'impatto dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre. Quando interagiscono con le molecole dell'atmosfera, viene prodotta una 'cascata' di particelle elementari. A volte queste particelle raggiungono alcuni dei migliaia di rilevatori disposti dagli scienziati in reti che si estendono per vari chilometri quadrati.

Un secolo di esperimenti ha permesso di raccogliere dati sufficienti per concludere che una parte significativa dei raggi cosmici ha origine dall'esplosione di supernove o da nuclei galattici attivi\*, al di fuori dalla nostra galassia.

\*vedi TUIMP 6



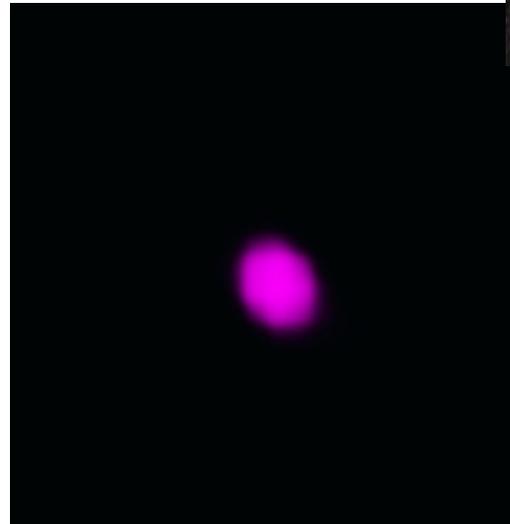
Immagine che mostra la collisione di due buchi neri

# Quiz



Le 5 stelle più brillanti della costellazione Cassiopea sono 1000 volte più luminose del nostro Sole.  
**Ma non è ciò che si chiama alta energia!**

Quale di queste immagini **non** è legata ai fenomeni di alta energia



Evento GW170817 visto dall'Osservatorio Chandra Space nei raggi X



La supernova 2010ld.

Galaxy UGC 3378



Supernova 2010ld

Galaxy UGC 3378

Le risposte sono sul retro



Impatto dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre

## L'Universo tascabile No. 9

Questo opuscolo è stato scritto nel 2013 da Mimoza Hafizi dell'Università di Tirana (Albania) e revisionato da Stan Kurtz dell'Istituto di Radioastronomia dell'Università Nazionale del Messico (UNAM) di Morelia.

Immagine di copertina: Rappresentazione artistica della fusione di due stelle a neutroni. [Credito: NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet]



Per maggiori informazioni su questa collana e sugli argomenti trattati in questo libretto, visita

<http://www.tuimp.org>

TUIMP Creative Commons

