



Fase di preselezione - Dossier 2023

Categorie: Junior 2, Senior e Master

Le supernovae (SNe)

Introduzione

L'apparizione improvvisa di una stella nel cielo veniva interpretata dagli antichi astronomi come la nascita di una nuova stella. Da questa interpretazione deriva il termine, in uso ancora oggi, di "nova". Queste stelle restavano visibili, a volte anche in pieno giorno, per diverse settimane, o mesi, per poi scomparire. In tempi più recenti si è compreso che gran parte di questi rapidissimi aumenti di luminosità sono legati non alla nascita di nuove stelle, ma piuttosto alla loro fine. In particolare con il termine supernova (SN) si indica un processo esplosivo che porta alla distruzione, o a un cambio radicale della struttura, di una stella. Vedremo come l'origine delle SNe non sia univoca, in quanto può costituire la fase finale dell'evoluzione di stelle molto diverse tra loro. Sebbene l'esplosione di una SN sia un evento relativamente raro nella Via Lattea, abbiamo evidenza di almeno cinque SNe esplose da quando esistono registrazioni storiche scritte e per almeno tre di esse sono stati identificati dei "resti" ben osservabili. Dato che le SNe sono molto luminose, possono essere osservate a distanze tali da diventare oggetti di interesse cosmologico, in particolare come indicatori di distanza. Il ruolo delle SNe nell'evoluzione chimica delle galassie è fondamentale, in quanto esse producono la maggior parte degli elementi chimici più pesanti del ferro. Infine, le SNe immettono nello spazio grandi quantità di energia, che riscaldano e influenzano il comportamento del gas interstellare.

Tipi di SNe

Le SNe sono classificabili in "termonucleari" o "core-collapse" (collasso del nucleo). Questa classificazione è conseguenza dei meccanismi fisici che causano l'esplosione. Inizialmente le SNe furono classificate come tipo I o II a seconda della presenza o meno di righe della serie di Balmer dell'idrogeno nel loro spettro durante le prime fasi dell'esplosione. Sebbene la classificazione attuale sia molto più articolata, qui ci limiteremo a considerare le SN di tipo Ia e II.

SNe di tipo Ia (SNe termonucleari)

Sono osservabili solo in sistemi binari, in quanto sono il risultato dell'esplosione di una nana bianca (white dwarf - WD) di carbonio e ossigeno la cui massa, a seguito dell'acquisizione di materia dalla compagna, supera il cosiddetto limite di Chandrasekhar (pari a circa $1.44 M_{\odot}$, dove il simbolo M_{\odot} indica la massa del Sole). Le WD di carbonio e ossigeno sono stabili nell'intervallo di massa $0.5- 1.44 M_{\odot}$. In queste WD la forza di gravità è contrastata dalla pressione del gas degenere di elettroni: l'equazione di stato (ovvero l'equazione che descrive lo stato fisico della materia) è relativistica e la pressione dipende solo dalla densità e non più dalla temperatura. In queste condizioni il raggio di una WD è inversamente proporzionale a una potenza della massa. Vicino al valore limite, un piccolo aumento di massa della WD causa una grande diminuzione del raggio e di conseguenza un grande aumento di densità e un forte riscaldamento del nucleo per compressione. Quindi se una WD di carbonio e ossigeno con massa prossima al limite di Chandrasekhar riceve materia da una compagna, tipicamente una gigante rossa, o se si trova in fase di fusione con un'altra WD, si verifica un rapidissimo aumento della temperatura del suo nucleo. Il risultato è l'esplosione della WD con un processo di deflagrazione o di detonazione, rispettivamente se la velocità con cui si propaga la variazione di temperatura è subsonica o supersonica, che porta alla sua completa distruzione.

SNe di tipo II (SNe core-collapse)

Alla fine della sua evoluzione una stella con massa dell'ordine di $25 M_{\odot}$ è una supergigante rossa che possiede una struttura interna "a cipolla", con un nucleo di ferro. Dato che l'energia di legame dei neutroni e dei protoni del nucleo di un atomo è massima nell'atomo di ferro, la fusione termonucleare di questo elemento non produce energia. Di conseguenza, non appena inizia la fusione il nucleo di ferro

comincia a collassare e l'intera struttura stellare non è più in grado di sostenersi. Il collasso avviene in caduta libera, con velocità tipiche dell'ordine di 1000 km/s. Nelle regioni centrali i protoni e gli elettroni si combinano per formare neutroni: si forma una stella di neutroni o, per masse superiori a circa $3 M_{\odot}$, un buco nero. Subito dopo, l'ulteriore materia che cade sulla stella di neutroni, che ha un diametro di una trentina di km al massimo ed è praticamente incompressibile, rimbalza. Si genera così un'onda d'urto che si propaga verso l'esterno, espellendo l'involucro della stella e causando la nucleosintesi esplosiva che produce gli elementi più pesanti del ferro.

SNe come indicatori di distanza

L'utilizzo delle SNe di tipo Ia come candele standard (cioè sorgenti astronomiche con luminosità nota), è risultato di estrema importanza per determinare le distanze delle galassie che le ospitano e i parametri cosmologici. L'esplosione di una SN Ia avviene per un valore di massa abbastanza ben definito. Il valore della magnitudine assoluta al massimo di luminosità delle SNe Ia è quindi abbastanza simile per tutte e può essere ricavato con grande precisione studiando l'andamento della variazione della luminosità delle SNe in funzione del tempo (curva di luce). Ne risulta un metodo molto accurato per la misura delle distanze galattiche che ha, tra l'altro, permesso di dedurre la presenza dell'energia oscura, che si pensa sia responsabile dell'accelerazione dell'espansione dell'Universo.

Le SNe di tipo II provengono invece da progenitori molto diversi tra loro e il loro uso come candele standard permette precisioni molto minori rispetto a quanto possibile con le tipo Ia.

Le SNe e la vita

A seguito dell'esplosione tutta, o quasi tutta, la massa della stella progenitrice viene immessa nel mezzo interstellare (la materia che si trova nello spazio "vuoto" tra le stelle), che si arricchisce così di elementi chimici prodotti sia durante l'evoluzione della stella che nella nucleosintesi durante l'esplosione. Questo processo è di fondamentale importanza per permettere la formazione di nuove stelle, e quindi di pianeti, ricchi di elementi pesanti. Questi elementi pesanti sono indispensabili per una chimica complessa e, in definitiva, per lo sviluppo della vita.

SNe in epoca storica nella Via Lattea e frequenza delle SNe

Le SNe storiche meglio documentate (per ognuna è indicato il tipo e le regioni di osservazione) e per le quali è stato osservato in epoca moderna un resto ancora identificabile risalgono agli anni: 185 d.C. (tipo Ia - Cina); 1006 d.C. (tipo Ia - Arabia, Cina, Giappone, Europa); 1054 d.C. (tipo II - Cina, Giappone, Arabia); 1572 d.C. (tipo I? - Europa, Cina, Giappone); 1604 d.C. (tipo I? - Europa).

Il resto di supernova più famoso è quello della SN 1054, la Nebulosa del Granchio (Crab Nebula). La SN del 1572 è conosciuta come la SN di Tycho, quella del 1604 come la SN di Keplero.

Si possono usare le SNe 185, 1006 e 1054, per le quali esistono stime della distanza abbastanza affidabili, per dedurre che in poco meno di 1000 anni ci sono stati tre eventi di SNe in un volume dell'ordine di 1/8 di quello della Via Lattea. Quindi la frequenza di eventi di SNe nella Via Lattea dovrebbe essere, in prima approssimazione, di un evento ogni 50 anni.

Molte delle informazioni presenti in questo testo sono state ricavate da un articolo di Ivan John Danziger (INAF - Osservatorio Astronomico di Trieste) pubblicato sul Giornale di Astronomia, n.3, 2003.