

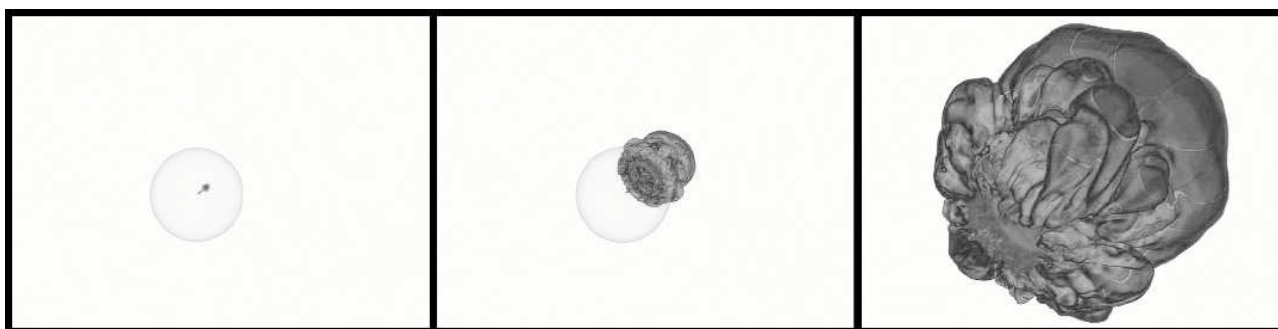
L'esplosione di supernova (17/03/10)

Quando ci troviamo di fronte al problema dell'esplosione di una supernova, le cose si fanno complicate, sia sul piano teorico, sia su quello sperimentale. Partiamo da quest'ultimo. Gli astronomi, classificando la salita e discesa nel tempo della luminosità delle supernove (la "curva di luce"), e i loro spettri, sono giunti a classificarle secondo almeno quattro tipi diversi, di cui solo il cosiddetto tipo II corrisponde(rebbe...) a stelle di grande massa. Ora, come qualsiasi astrofilo ben sa, questo tipo di esplosioni è molto raro. Nella nostra galassia, da quando esistono strumentazioni astronomiche efficienti, non se ne è vista neppure una, e la più vicina è stata la 1987A, che si trovava nella Grande Nube di Magellano. Dunque, in una galassia relativamente vicina, ma comunque in una galassia esterna. In queste condizioni, e sebbene i telescopi più moderni siano in grado di ricavare molte informazioni su supernove anche piuttosto distanti, è chiaro che il *corpus* sperimentale su cui lavorare sia abbastanza limitato. Per esempio, poco si può dire sull'emissione di neutrini che, invece, come vedremo tra poco, potrebbe essere un elemento chiave, e assolutamente nulla su quella di onde gravitazionali, mentre le strumentazioni attuali sarebbero in grado di rivelarle.

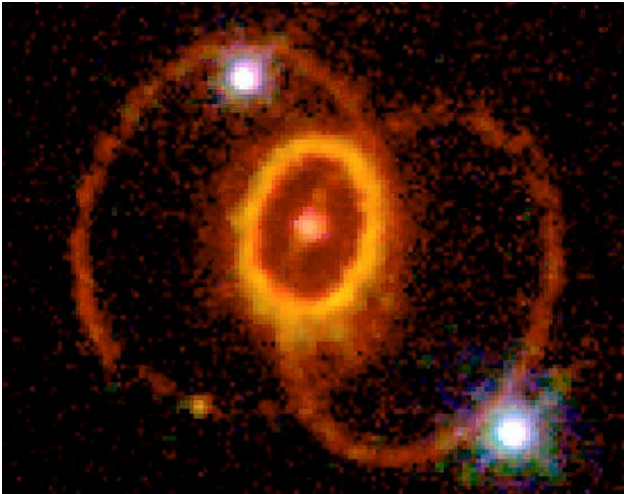
Passando all'aspetto teorico, vale la pena di riferirsi proprio alla 1987A: le analisi delle carte celesti fotografate prima dell'evento, hanno mostrato che la stella esplosa era una gigante blu, mentre tutti i modelli teorici fino a quel momento prevedevano una gigante rossa.

Uno dei problemi fondamentali, con ogni probabilità, è legato alla velocità dei tempi di esplosione: dal momento in cui il Ferro comincia a fondere, si tratta di frazioni di secondo e, in tempi così brevi, non c'è proprio nulla che possa raggiungere situazioni di equilibrio. Piccolissimi sbilanciamenti dovuti alla rotazione, al campo magnetico in quell'istante preciso e, soprattutto, a come nasce e si sviluppa la convezione, possono condurre a differenze drammatiche nell'esito dell'esplosione. Va comunque detto che, per quanto i teorici ce la mettano tutta, fino al giorno d'oggi ogni modello teorico prodotto prevede che la supernova non possa esplodere verso l'esterno, ma che tutta la materia debba implodere verso l'interno lasciando un buco nero. Come si esce da questa situazione?

Un modo potrebbe essere quello di smettere di calcolare modelli a simmetria sferica, sostanzialmente in equilibrio, e di utilizzare le possibilità offerte oggi dai supercomputer per seguire l'avvio e lo svolgersi dell'esplosione. Si tratta di una tecnica ancora agli inizi, che richiede enormi quantità di tempo-macchina, non sempre disponibili, e un raffinamento costante, a volte di grandi proporzioni, della fisica da utilizzare, pur essa molto incerta quando si va a toccare la convezione turbolenta. Sotto, è riportato un esempio dei risultati di un calcolo del genere.



In questo caso, è stata posta molta attenzione allo sviluppo dei vortici convettivi, che si distinguono molto bene nell'ultima immagine, la quale dovrebbe già fornire un'idea di quel che dovremmo aspettarci dall'esplosione. Il fatto che l'esplosione sia asimmetrica rispetto al centro riflette il fatto che, in questo studio, la supernova deriva da una stella binaria. Resta comunque una considerazione: in nessun caso, ciò che vediamo nei residui espulsi da una supernova al passare



degli anni, ha la minima rassomiglianza con quanto si calcola. Dunque, sebbene la via da seguire comprenda certamente questo tipo di raffinamenti (modelli tridimensionali eccetera), dev'esserci ancora un elemento fondamentale che ci sfugge, e di cui non teniamo conto nei nostri calcoli. Alcuni, giunti alla disperazione, hanno ipotizzato che siano i neutrini a far esplodere gli strati esterni della supernova. Non è del tutto impossibile, e vediamo perché.

I fotoni, come sappiamo, sono i mediatori dell'interazione elettromagnetica. Ma, se abbiamo fotoni di energia abbastanza alta, entrando nel campo elettrico di un protone o di

un nucleo pesante, questi possono dare luogo a trasformazioni del protone che, alla fine, generano neutrini. In linea di massima, e considerando che ci sono anche altri processi che generano neutrini, si può considerare che il loro ritmo di produzione vada proporzionalmente a T^{8-12} . Dunque, quando la temperatura sale, la quantità di neutrini generata aumenta in modo spropositato e, sebbene i calcoli siano estremamente controversi, non si può escludere che la stragrande quantità dell'energia della supernova sia emessa in neutrini, specie considerando che trattandosi di fotoni i tempi di equilibrio sono pressoché istantanei, e dunque la generazione di neutrini è più o meno a simmetria sferica. Se così fosse, i neutrini sarebbero così tanti da interagire con la materia in modo massiccio, e spingerla verso l'esterno, sottraendola alla caduta verso il buco nero centrale. L'esplosione di una supernova sarebbe, dunque, un'esplosione di neutrini e, solo secondariamente, un'esplosione di materia, trascinata fuori dai neutrini stessi. Inutile dire che questo tipo di modelli è ancora altamente opinabile, poiché la materia dovrebbe essere accelerata fino a oltre un decimo della velocità della luce, e quindi l'efficienza di spinta da parte dei neutrini dovrebbe essere davvero estrema, difficilmente conciliabile con il Modello Standard. Ma è comunque chiaro che anche i neutrini vanno tenuti in considerazione.

Qui accanto, abbiamo invece l'esito effettivo dell'esplosione di una supernova recente; per l'appunto la 1987A. Come si vede, si è formato un sistema di anelli non tutti concentrici, e questo la dice lunga sulla nostra incapacità di teorizzare quello che succede davvero durante l'esplosione. L'unica cosa che sappiamo con certezza dalle osservazioni è che vengono messi in circolo molti elementi più pesanti dell'Elio. In primo luogo Ossigeno; poi gli elementi del gruppo del Ferro (fino al Nichel), quindi Carbonio, Azoto, Silicio, Magnesio e altri, e da ultimo gli elementi più pesanti del Ferro, fino all'Uranio e oltre, che vengono sintetizzati in buona misura dai cosiddetti "processi r". Se qualcuno ricorda i "processi s" che avvenivano nelle stelle di piccola massa durante i puls termici, ovvero l'acquisizione lenta ("slow") di neutroni e la costruzione di nuclei di dimensioni sempre maggiori, qui abbiamo invece i processi di assorbimento rapido ("rapid", da cui la "r") di neutroni durante l'esplosione. Siccome di neutroni ce ne sono proprio tanti, in tempi brevissimi si possono generare elementi veramente pesanti; perfino i transuranici.

Con questo abbiamo finito la parte riguardante la formazione dei nuclei atomici, e dunque degli atomi più pesanti dell'Elio, e della loro messa in distribuzione. Dalla prossima volta potremo cominciare a discutere ciò che avviene nelle nubi di gas interstellare inquinate da questi nuclei, e le molecole più frequenti, per salire poi alla chimica organica.