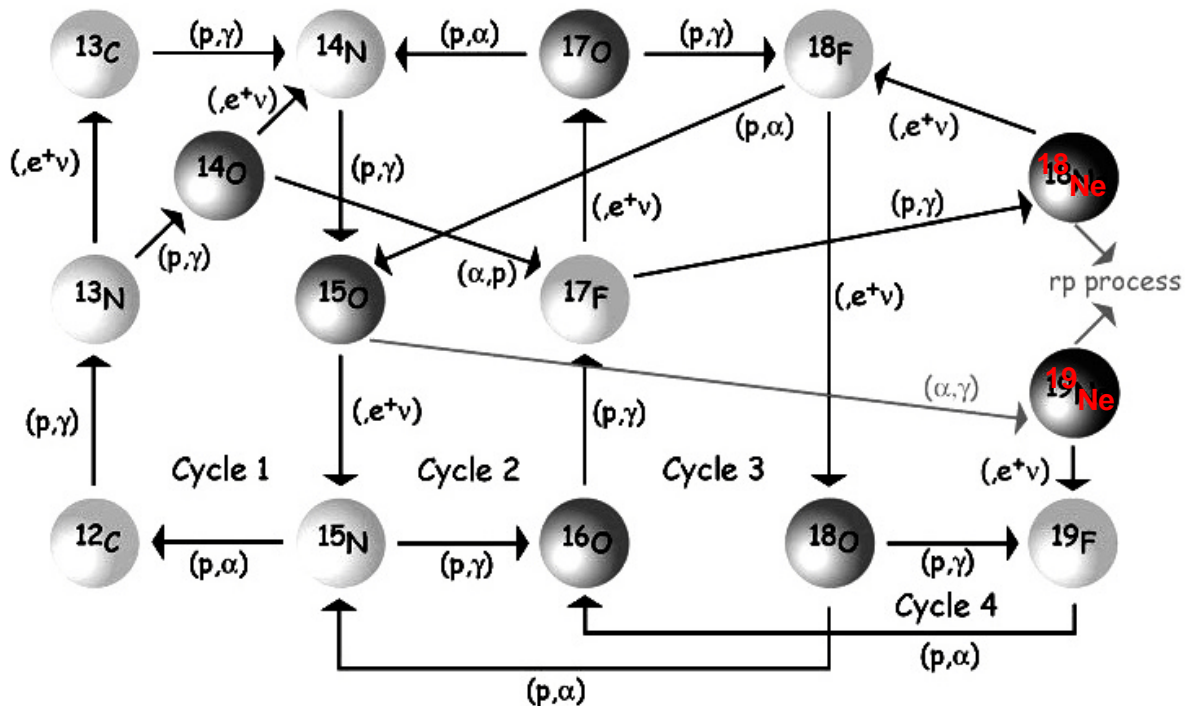


Il ciclo CNO – II parte (13/01/10)

Ricordate il diagramma che abbiamo visto lo scorso salotto, quello che mostra l'andamento della sezione d'urto al variare della temperatura? Al crescere di quest'ultima, dapprima c'è una salita ripida della probabilità di reazione, poi un "appiattimento" relativo. Così, quando la temperatura supera i 20 milioni di gradi circa, come avviene nelle stelle di massa superiore a $5 - 6 M_{\odot}$, si attivano reazioni molto più strane di quelle che abbiamo visto finora. Riporto qui sotto un grafico quasi completo di quello che succede degli elementi del gruppo CNO, coll'aggiunta del Fluoro (F), fino a temperature molto elevate (circa 200 milioni di gradi).



Partiamo dall'angolo inferiore sinistro. È l'inizio del ciclo CNO che abbiamo visto la volta scorsa. Saliamo a ^{13}N e troviamo la prima biforcazione. Questo elemento decade spontaneamente nel ^{13}C ma, se la temperatura è abbastanza alta, prima di decadere può fare in tempo a mangiarsi un protone e trasformarsi in ^{14}O . "Poco male", si potrebbe dire. Anche quest'ultimo decade in ^{14}N con una vita media di 71 secondi, e perciò il ciclo riprende come se nulla fosse stato. Ma, durante quei 71 secondi, il nucleo ^{14}O può fare in tempo a mangiarsi un nucleo di Elio, buttare fuori un protone, e trasformarsi in ^{17}F . Quest'ultimo elemento non c'era; che si fa? Bene: in circa 64 secondi il Fluoro decade in ^{17}O , e quest'ultimo, mangiandosi un protone e buttando fuori un nucleo di Elio, ci riporta al vecchio ciclo CNO, poiché si trasforma in ^{14}N . E fin qui abbiamo visto il primo ciclo (quello della volta scorsa) e la parte alta del secondo ciclo. Ma c'è una parte bassa. Il nucleo di ^{15}N che, mangiando un protone ed emettendo un nucleo di Elio, completava il primo ciclo riportandoci al ^{12}C , ad alta temperatura si può comportare in modo più strambo. Può avere abbastanza energia da trasformarsi in ^{16}O emettendo solo radiazione. L'ossigeno così formato, a sua volta, ingoia un protone e si trasforma in ^{17}F e quest'ultimo, decadendo, va a completare il secondo ciclo CNO che prende il nome di "CNO caldo" ma, a stretto rigore di termini, dovrebbe chiamarsi: "ciclo CNOF".

A questo punto, la filosofia del gioco dovrebbe esserci chiara, e vediamo come il nucleo di ^{17}O , a temperature ancora più alte (30 - 40 milioni di gradi), anziché emettere un nucleo di Elio e riportarci al primo ciclo, può emettere radiazione elettromagnetica e creare il ^{18}F innescando in

questo modo il terzo ciclo. Da questo momento, non scriverò più le reazioni successive, poiché ci basterà seguirle e raccontarle seguendo il diagramma. Notiamo solo come esistano almeno due cicli di **CNO** caldo: il secondo e il terzo, coll'aggiunta del Fluoro, e uno "caldissimo", ovvero il quarto, nel quale fa la comparsa anche il Neon. Notiamo altresì come tutti e quattro i cicli coinvolgano decadimenti spontanei, e reazioni nel corso delle quali vengono assorbiti o emessi solo Idrogeno o Elio.

Ora che abbiamo seguito tutti i cicli, notiamo quanto segue. Il quarto ciclo, per essere efficiente, richiede temperature davvero molto elevate: dell'ordine del centinaio di milioni di gradi, quando – e lo vedremo in seguito – comincia a bruciare anche l'Elio. Dunque, esso potrà procedere solo in stelle di grandissima massa (decine di M_{\odot}), ma sarà comunque sempre separato dal bruciamento dell'Elio. Perché? La risposta precisa la scopriremo in futuro, ma anticipiamo qui un breve cenno: per bruciare, l'Elio ha bisogno di densità molto elevate. Le stelle di Sequenza Principale che bruciano anche il **CNO** caldissimo, invece, hanno densità molto basse, inferiori a quella dell'acqua, perché basta la temperatura altissima a generare la pressione sufficiente a mantenere in piedi la struttura.

Ci fu un solo caso in cui bruciamento **CNO** e bruciamento dell'Elio si sovrapposero per breve tempo: quello di stelle antichissime, formatesi qualche centinaio di milioni di anni dopo il Big Bang, quando la materia era composta solo di Idrogeno ed Elio. In quel caso, anche se la massa della stella era grandissima (si poteva arrivare a $1000 M_{\odot}$), l'Idrogeno era forzato a bruciare attraverso la catena protone-protone, perché non esistevano elementi **CNO**. Affinché la stella generasse l'energia necessaria a mantenersi in vita, visto il valore relativamente basso delle sezioni d'urto **p-p**, la temperatura centrale doveva quindi essere molto elevata, anche 200 milioni di gradi o più. Ma, con la temperatura così alta, anche a densità basse poteva esistere un minimo di bruciamento dell'Elio, e in tempi brevi si produceva un minimo di ^{12}C dal quale, poi, si attivavano tutte le catene **CNO**. Comunque, finché non si era prodotto abbastanza ^{12}C , il bruciamento protone-protone rimaneva competitivo, la temperatura altissima, e continuava a prodursi ^{12}C . Alla fine, il **CNO** prendeva il sopravvento, e a quel punto diventavano sufficienti temperature più basse per produrre tutta l'energia sufficiente a mantenere in piedi la stella. Il bruciamento dell'Elio si spegneva, e il **CNO** manteneva la stella in vita, ma la catena protone-protone seguitava a generare una frazione non del tutto trascurabile dell'energia.