

PRANTZOS Nicolas
CNRS/Institut d'Astrophysique de Paris
98bis Boulevard Arago
F-75014 Paris, France
prantz@iap.fr

Session 1

NUCLEOSYNTHESE : L'ORIGINE DES ELEMENTS CHIMIQUES DANS L'UNIVERS

La théorie de la *nucléosynthèse* a émergé vers le milieu du vingtième siècle suite aux progrès rapides réalisés dans trois différents domaines qui touchent à notre compréhension de

- (1) la composition du Soleil et des objets du système solaire;
- (2) les conditions physiques à l'intérieur des étoiles au cours de leurs phases évolutives successives, et
- (3) les propriétés des noyaux et des réactions nucléaires.

Les étoiles massives (plus que 10 masses solaires) synthétisent durant leur évolution et dans leurs différentes couches les éléments lourds, du C au Ca, qu'elles éjectent dans le milieu interstellaire lors de leur explosion finale en *supernova*. Durant l'explosion, une grande quantité des isotopes du pic du Fer (du Ti au Zn) est également produite.

Les étoiles intermédiaires (2 - 10 masses solaires) produisent d'importantes quantités d'He et certains isotopes du C, N et O, ainsi que des isotopes plus lourds que le fer qui se trouvent dans la vallée de stabilité nucléaire (noyaux s-, produits par captures de neutrons). Tous ces noyaux sont emmenés jusqu'à l'enveloppe de l'étoile par de mouvements convectifs et ils y sont mélangés; les vents stellaires, notamment lors des phases AGB et *nébuleuse planétaire*, les expulsent dans le milieu interstellaire.

Les noyaux plus lourds que le fer, qui se trouvent loin de la vallée de stabilité nucléaire, sont manifestement produits lors des explosions des étoiles massives, dans des couches soumises à un important flux de neutrons (éléments r-), ou encore dans de couches où les noyaux s-préalablement produits sont photodésintégrés (noyaux p-, riches en protons). Le processus r- est à l'origine des noyaux naturels les plus lourds (ceux du Th et U).

Finalement, une importante fraction de noyaux du pic du fer (plus de la moitié) sont synthétisés dans les *supernovae thermonucléaires* (SNIa), des naines blanches dans de systèmes binaires, qui accrécent l'enveloppe de leur compagnon et explosent en atteignant la *masse-limite de Chandrasekhar*.

Ces produits de la nucléosynthèse stellaire sont dispersés mélangés dans le milieu interstellaire. Des millions d'années plus tard, la condensation des nuages de gaz interstellaires vont naître des nouvelles étoiles, enrichies en éléments lourds, ainsi que des systèmes planétaires autour d'elles.

NUCLEOSYNTHESIS: THE ORIGIN OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE UNIVERSE

The theory of nucleosynthesis emerged around the middle of the 20th century as a result of rapid progress in our understanding of three different fields:

- 1) The composition of the Sun and the Solar system,
- 2) The physical conditions prevailing in the interiors of stars during their various evolutionary stages, and
- 3) The systematic properties of nuclei and nuclear reactions.

Massive stars (more than 10 solar masses) synthesize in their various burning layers elements from C to Ca and eject them in the interstellar medium in their final SN explosion. During the explosion, a large fraction of Fe-peak isotopes (from Ti to Zn) is also produced.

Intermediate mass stars (2-8 solar masses) produce important amounts of He and CNO isotopes, as well as heavier than Fe-peak nuclei lying on the nuclear stability valley (s-nuclei, produced by neutron captures). All those nuclei are convected to the surface of the star and ejected in the interstellar medium through the stellar winds, mostly during the AGB and planetary nebula phases.

The heavier than Fe-peak nuclei that are lying relatively away from the nuclear stability valley are thought to be produced during the explosions of massive stars, either in stellar layers submitted to large neutron fluxes (neutron rich or r-nuclei) or in layers where photodesintegrations of already synthesized s-nuclei play an important role (proton rich or p-nuclei); the former process is also responsible for the formation of the heaviest stable nuclei, the Th and U isotopes.

Finally, a large fraction of the Fe-peak nuclei (>50%) is synthesized in thermonuclear SN (SNIa), white dwarfs in binary systems, that explode upon reaching the Chandrasekhar limit M_{Ch} (through accretion from their companion star).

The products of stellar nucleosynthesis are dispersed and mixed in the interstellar medium. Millions of years later, the condensation of clouds of interstellar gas will lead to the formation of stars enriched in heavy elements and to the formation of planetary systems around them.