

우주와 생명 제 6강
원소의 기원

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

노벨 물리학상 수상 강연 (1978)



<출처>

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Messier_16_Chandra.jpg



<출처>

<http://starteachastronomy.com/pictures/penzias.JPG>

원소의 기원 The Origin of Elements

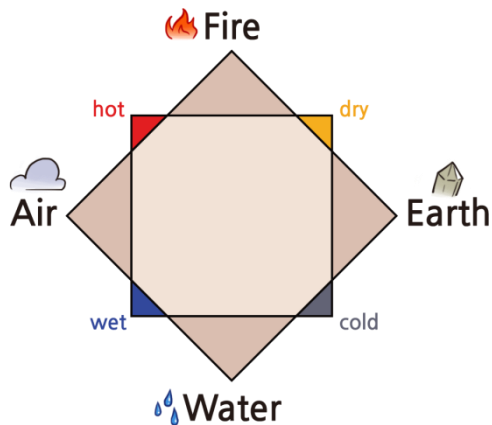
아노 펜지어스
Arno A. Penzias

6-1 생명의 원소들(Elements of Life)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

인류 역사의 대부분 기간에 있어서
물질은 흙, 공기, 불, 물 네 가지
원소의 다양한 조합이라고
생각되어왔다.

Throughout most of recorded history,
matter was thought to be composed
of various combinations of four basic
elements; earth, air, fire and water.



6-1 생명의 원소들(Elements of Life)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

현대과학은 이 리스트를 훨씬 긴 리스트로 교체했는데, 지금 알려진 화학 원소의 종류는 100을 훨씬 넘는다.

Modern science has replaced this list with a considerably longer one; the known chemical elements now number well over one hundred.

6-1 생명의 원소들(Element of Life)

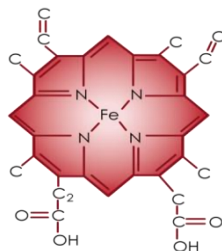
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

우리가 호흡하는 산소, 피에 들어있는 철, 원자로의 우라늄 등 이 중 대부분은 하늘의 별들의 불타는 일생과 그들의 폭발적인 죽음을 통해서 만들어졌다.

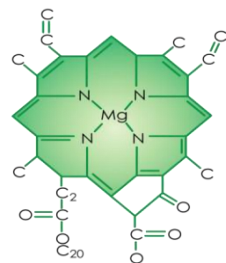
Most of these, the oxygen we breathe, the iron in our blood, the uranium in our reactors, were formed during the fiery lifetimes and explosive deaths of stars in the heavens around us.



적혈구



헤모글로빈



엽록소

6-1 생명의 원소들(Elements of Life)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

원소 중에서 몇 가지는 별이 전혀 없었을 때, 우주 자체가 태어난 그 시기에 만들어졌다.

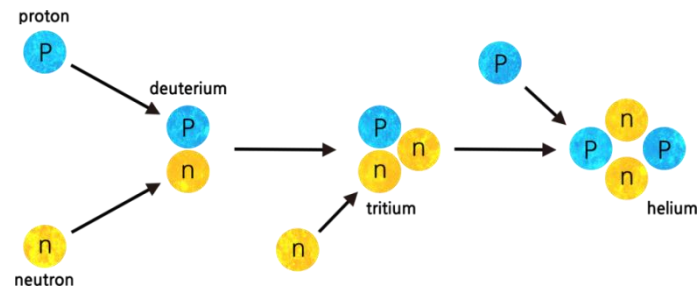
A few of the elements were formed before the stars even existed, during the birth of the universe itself.

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

원소의 기원을 과학적으로 제대로 이해하려면 우리가 알 수 있는 장소에서, 그리고 지금 존재하거나 과거에 존재했던 상황에서 (양성자, 중성자 등) 공통적인 구성 성분들이 쌓여서 원소들이 합성되는 과정을 서술할 수 있어야 한다.

The full scientific understanding of the origin of the elements requires a description of their build-up from their common component parts (e.g., protons and neutrons) under conditions known to exist, or to have existed, in some accessible place.



6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

일단 그럴듯한 합성
과정이 밝혀지고 그 때
필요한 조건들이
결정되고 나면 그런
핵반응이 일어날 수
있는 적당한 장소를
찾는 일이 뒤따랐다.



<출처>

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Hans_Bethe_and_Swedish_King.jpg

한스 베테 (Hans Bethe)
1967년 노벨 물리학상

Once plausible build-up processes were identified and the conditions they required were determined, the search for appropriate sites for the nuclear reactions followed.

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

**이런 일은 1930년대에 본격적으로
시작되었지만, 1960년대 말 경에야
만족할 만한 이론적 틀이 자리를
잡았다.**

Although this search was begun in earnest in the nineteen thirties, it was toward the end of the nineteen sixties that the full outlines of a satisfactory theoretical framework emerged.

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

이 기간 동안 이루어진
핵합성에 관한 과학적
사고를 대략 살펴보면
두 관점 사이에서
오락가락 한 것을 볼 수
있다.



<출처>

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Horsehead_Nebula.jpg



In the broad outlines of the relevant scientific thought during this period one can discern an ebb and flow between two views.

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

첫 번째 관점에서는 원소들은
우리은하 내의 별들에서 만들어지고
바깥의 공간으로 뿌려져서 새로운
별이나 행성들, 그리고 우리 발 밑의
암석을 만드는데 사용되었다고 본다.

In the first, the elements were
thought to have been made in the
stars of our galaxy and thrust back
out into space to provide the raw
material for, among other things,
new suns, planets and the rock
beneath our feet.

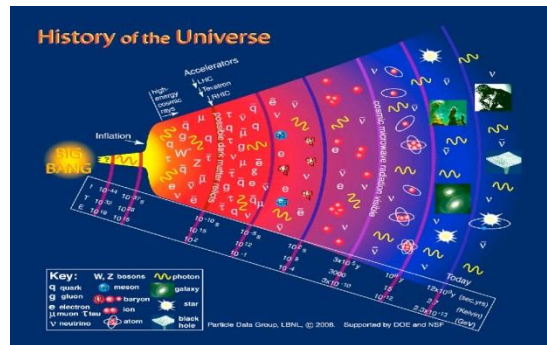
6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

두 번째 관점에 따르면 별이 태어나기 전에 핵 입자들의 뜨거운 수프가 이미 여러 원소들로 요리 되었다고 한다.

흔히 이러한 별 이전의 상태는 팽창하는 우주의 뜨거운 초기 상황으로 생각된다.

In the second view, a hot soup of nuclear particles was supposed to have been cooked into the existing elements before the stars were formed. This pre-stellar state was generally associated with an early hot condensed stage of the expanding universe.



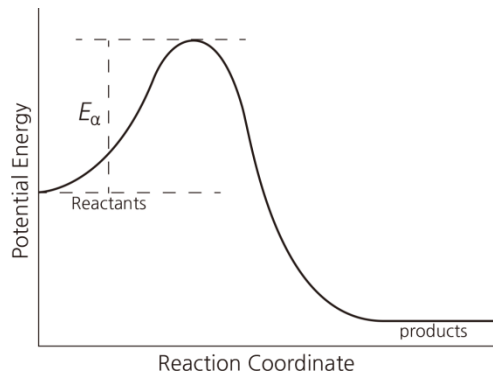
<출처>

<http://www.particleadventure.org/images/history-universe-08.jpg>

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

역사적으로 보면
1930년대에 원소
합성을 정량적으로
체계화하려는 시도가
있었는데, 별에서는
찾아볼 수 없는 조건을
필요로 하는 것으로
드러났다.



에너지 장벽



<출처>

http://fc07.deviantart.net/fs22/i/2008/071/e/5/Himalaya_Mountains_1_Nepal_by_CitizenFresh.jpg

Historically, the first quantitative formulations of element build-up were attempted in the nineteen thirties; they were found to require conditions then thought to be unavailable in stars.

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

그래서 1940년대에는 별 이전의 상태를 원소 생성의 장소로 고려하는 방향으로 관심이 바뀌었다.

As a consequence, attention turned in the 1940's to consideration of a pre-stellar state as the site of element formation.

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

이러한 노력도 원하는 목표를 달성하지 못했고, 1950년대에는 별에서의 원소 생성으로 관심이 다시 바뀌었다.

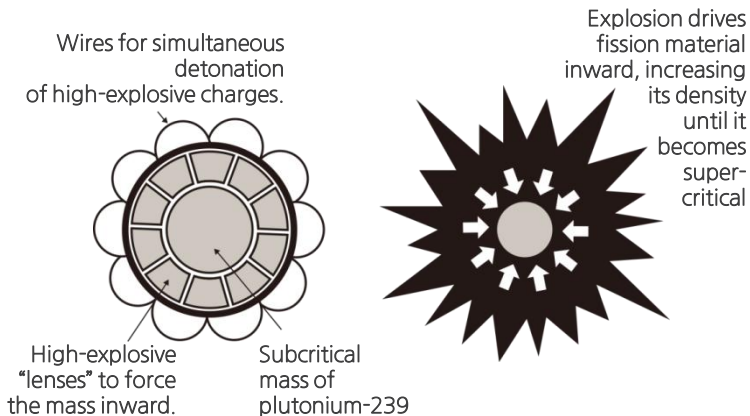
This effort was not successful in achieving its stated goal, and in the 1950's interest again turned to element formation in stars.

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

그 때 즈음에는 그 전에는 있을 수 없다고 생각되었던 다양한 조건들이 별에서 가능하다는 사실이 받아들여졌다.

By then the existence of a wide range of stellar conditions which had been excluded in earlier views had become accepted.



<출처>
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/ff/Fred_Hoyle.jpg/250px-Fred_Hoyle.jpg

호일

6-2 별에서? 그 이전에?(Stella or Pre-stellar)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

마지막으로 1960년대에 우주배경복사가 발견되고 이것이 초기 뜨거운 우주에서 나온 복사의 잔재로 밝혀지면서 별 이전 상태가 다시 관심을 끌게 되었다.



<출처>
<http://www.bloggang.com/data/u/upanigkit/picture/1271915370.jpg>

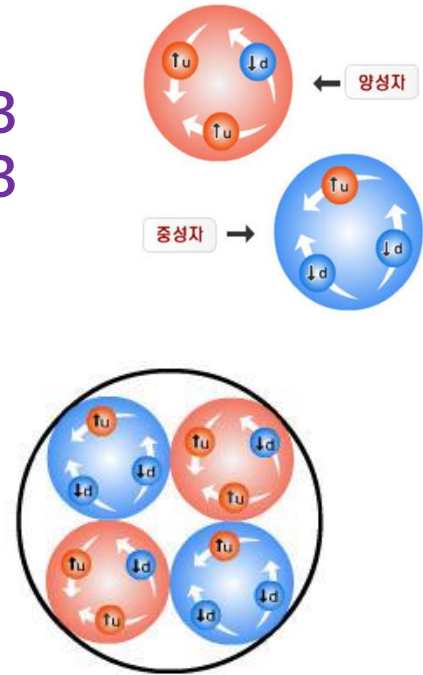
Finally, the 1960's saw a reawakened interest in the idea of a pre-stellar state at the same time that decisive observational support was given to the “Big Bang” universe by the discovery of cosmic microwave background radiation and its identification as the relic radiation of the initial fireball.

6-3 빅뱅 핵 합성 (Big Bang Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Quark's charge is truly innovative.
Up quark is two thirds positive.
Down quark is one third negative.
As the particles evolve
Up and down quarks combined two one
To make proton.
They combined one to two
To make neutron, too.
Proton is made to carry charge distinctive.
Neutron is made to carry charge suggestive.

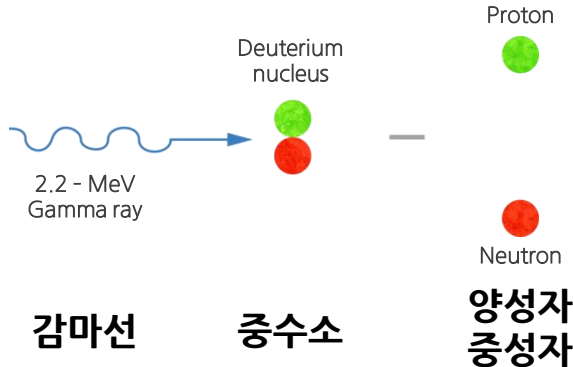
$$u = +2/3$$
$$d = -1/3$$



6-3 빅뱅 핵 합성 (Big Bang Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

아주 온도와 밀도가 높은 초기 우주의 상황에서는 핵 합성이 일어날 수 없는데 그 이유는 100억도 이상의 고온에서는 광자의 에너지가 너무 높아서 결합한 핵 입자가 다시 쪼개지기 때문이다.



Nuclear build-up cannot take place in the hottest, most condensed, state of the early universe because thermal photons at high temperatures $> 10^{10}\text{K}$ are energetic enough to break up bound particle groups.

6-3 빅뱅 핵 합성 (Big Bang Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

온도가 10억 도 정도로 떨어진
다음에야 핵반응이 일어날 수 있다.

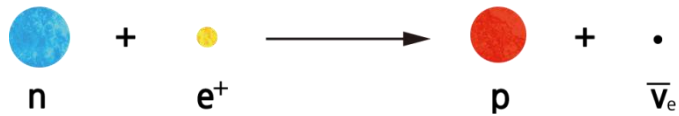
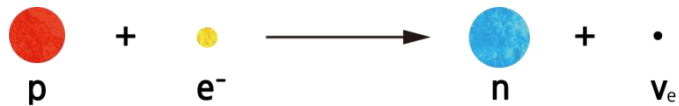
Only when the temperature has
cooled to $\sim 10^9\text{K}$, can nuclear
reactions begin.

6-3 빅뱅 핵 합성 (Big Bang Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

10억 도 이상의 복사 장은 전자-양전자 쌍을 생성하는데, 이 전자와 양전자에 의해 중성자와 양성자 사이의 열 평형이 이루어진다.

The radiation field at $T \gg 10^9\text{K}$ generates electron-positron pairs which serve to maintain quasi-thermal equilibrium between neutrons and protons.

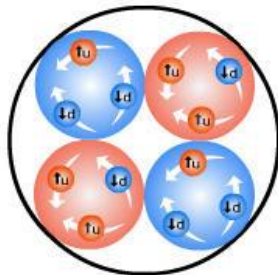


6-3 빅뱅 핵 합성(Big Bang Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

(1953년에 발표된) 알퍼, 폴린, 허먼의 계산에 따르면 물질의 15% 정도가 헬륨으로 바뀌었다고 한다.

Alpher, Follin and Herman's results (1953) are chiefly marked by conversion of some 15% of the matter into helium.

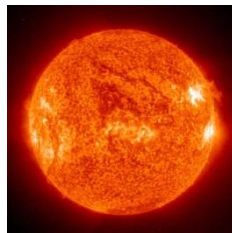


6-4 별의 핵 합성(Stellar Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

별에서는 빅뱅 우주에서 만들어진 헬륨과 별 자체에서 추가적으로 만들어진 헬륨이 (베릴륨-8을 거쳐서) 탄소-12로 바뀌고, 탄소로부터 더 무거운 원소들이 만들어진다.

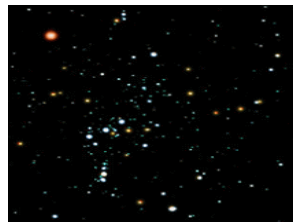
In stars, the cosmologically produced helium-4, together with additional amounts of helium produced by the stars themselves, is concerted (via beryllium-8) into carbon-12 from which the heavier elements are then built.



<출처>

<http://images-of-elements.com/s/sun.jpg>

“Politics are for the moment.
An equation is for eternity.”
A. Einstein



탄소 핵 질량 >
1.4 x 태양 질량
 ${}_6\text{C} + {}_2\text{He} \rightarrow {}_8\text{O} \dots \text{iron}$
찬드라세카 한계

<출처>

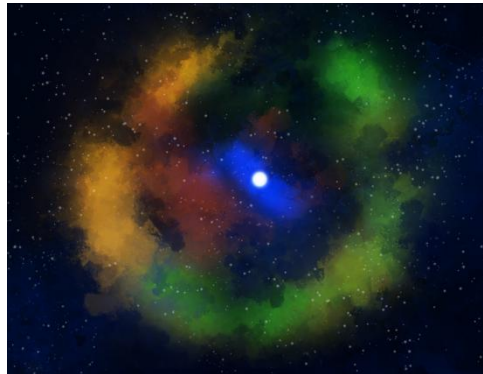
http://1_bp.blogspot.com/_w1kycNNBkOE/TFUq5YCMGii/AAAAAAAABw/FULoTbpQGKs/s1600/orion_spinelli_c1.jpg

6-5 폭발적 핵 합성(Explosive Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

대부분 무거운 원들의
생성은 무거운 별의
일생 중 마지막 격렬한
몇 분 사이에
일어나는데 이 초신성
폭발에서 바깥 층이
우주 공간으로
퍼져나간다.

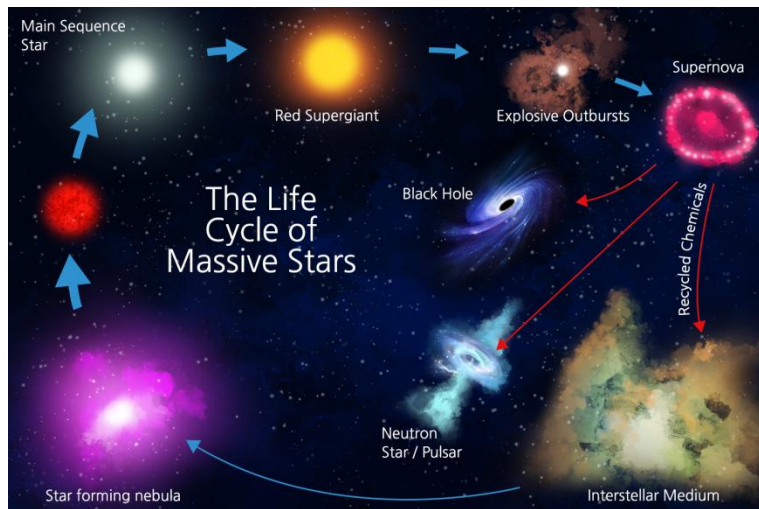
중성자 포획 - 베타 붕괴
중성자 포획 - 핵 분열
알파 붕괴 - 베타 붕괴



Much of the build-up of the heavier elements goes on in a few violent minutes during the life of massive stars in which their outer shells are thrown outward in supernova explosions.

6-5 폭발적 핵 합성(Explosive Nucleosynthesis)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



Big Bang universe

expand

star

supernova

earth

confined: H/He

free, atom

confined, fusion

free

interstellar molecules

confined, life

Review

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

In the beginning
There was an element light,
And to God's delight
Hydrogen begat everything
Following a scheme so bright
Though chances seemed so slight.

Review

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

There was a student
At Harvard named Payne.
She was not only diligent
But also quite intelligent.



She studied lines that stellar spectra contain
In the visible domain.

She proved that in stars hydrogen is the most abundant.