

Ders 3: Elementlerin Kökeni

Güneş Sistemi'ndeki elementlerin bolluğu: İzah edilecek altı ana gözlem:

- (1) H ve He en bol elementlerdir.
- (2) Element bollukları artan atom numarası ile azalmaktadır.
- (3) Atom numaraları çift sayı olan elementler, atom numarası tek sayı olan elementlere göre daha boldur.
- (4) Li, Be, B anormal derecede enderdir.
- (5) Fe anormal derecede boldur.
- (6) Tc, Pm atom numaraları 83'den büyük olan elementlerdir. Th ve U hariç olmak üzere bu elementler son derece ender veya mevcut değildirler.

H ve He'un dışındaki elementlerin hemen hemen hepsi çekirdek sentezlerinin [nükleosentez, mevcut nükleonlardan (çekirdeklerden: proton + nötron) yeni atomik nükleonlar üretme işlemi] ürünleridir (yıldızlardaki nükleonların sentezi).

Büyük Patlama

Sıcaklık 10^9 K'ne kadar soğuduktan 100 saniye sonra, elementler oluşabilirler.

H proton ve elektronun Coulomb Yasası'na göre çekiminden meydana gelir.

He çekirdeğini, kuvvetli güçler bir arada tutmaktadır. Kuvvetli güçler, $\sim 10^{-15}$ m aralığında egemendir.

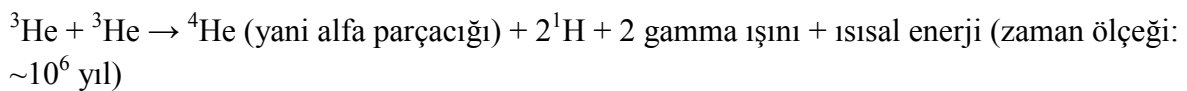
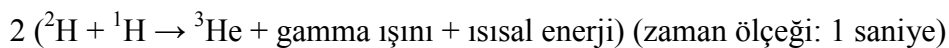
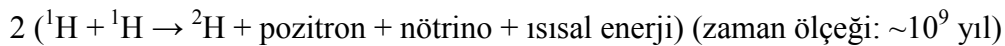
Büyük Patlama Dönemi H (%72) ve He (%28) oluşumu ile sonuçlanmıştır.

Atom numarası 2'den büyük elementler nükleosentez ile oluşmaktadır. Yıldızlarda (kütle $> 0.072 M_{\text{Güneş}}$)

Bu 1# gözlemi izah etmektedir.

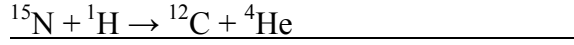
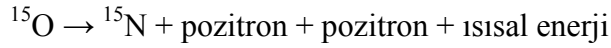
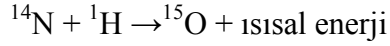
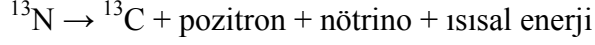
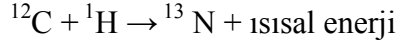
Proton – Proton Zincirleme Tepkimesi (H-Yanması)

(Yıldızların hidrojeni helyuma dönüştürdükleri birkaç füzyon tepkimesinden biridir. Proton-proton zincirleme tepkimesi Güneş kadar büyük yıldızlarda enerji üretiminde önemlidir).



dE/dt (enerji üretim hızı) T^4 (T = Sıcaklık) ile orantılıdır.

Buna rağmen, bizim Güneş'imiz, gelişmiş bir yıldız olup, önceki ölü yıldızlar tarafından sentezlenmiş elementlerden oluşmaktadır. Gelişmiş yıldızlar başlıca CNO (karbon-oksijen-nitrojen: **Carbon-Oxygen-Nitrogen Cycle**, diğer adıyla: Bethe-Weizsäcker Cycle; Güneş'in kütlelerinden 1.3 kez'den daha fazla olan yıldızlarda enerjinin başlıca kaynağıdır) döngüsünü He sentezlemek için kullanmaktadırlar:



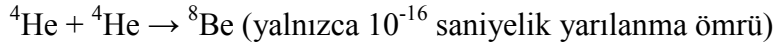
C, N ve O tarafından katalizlenir.

Hem p-p zinciri hem de CNO döngüsü için $T > 10^7$ K'lik sıcaklıklar gereklidir.

Üçlü Alfa Süreci – He Eklenmesi (Triple Alpha Process)

(Üç ^4He çekirdeğini karbona dönüştüren çekirdek kaynaşma tepkime kümesidir)

Öz yerçekimi ile dengelenmiş (kaynaşma enerjisinden kaynaklanan) ışınım basıncı, yıldız çekirdeğinin boyutunu belirlemektedir. Eğer bir yıldız çekirdeği, hidrojeninin çoğunluğunu tüketirse, H-kaynaşmasından üretilen ışınım enerji ile desteklenen basınç artık olmayacağından yıldız çökecektir. Güneş'in kütlelerinden 0.8 kez daha büyük olan yıldızlar için ($M > 0.8 \cdot M_{\text{Güneş}}$) için, çekirdek 10^8 K'den büyük sıcaklıklara ve He kaynaşması için yeterli basınçlara ulaşacaktır (kızıl dev evresi)



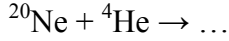
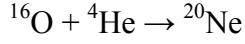
^8Be 'un kısa yarılanma ömrü neden yüksek sıcaklık ve basınca ihtiyacınız olduğunu açıklamaktadır.

Li ve B'un atlanarak geçilmesi 4# gözlemi açıklamaktadır.

Karbon, hidrojen ve helyum'dan sonra üretilen ilk durağan elementtir.

Yüksek sıcaklık ve basınçta, ek He eklenmesi gerçekleşmektedir:





Artan atom numarası ile Coulomb itmesi arttığından tepkimelerin gerçekleşmesi gittikçe zorlaşmaktadır. Bu durum 2# gözlemi açıklamaktadır.

.

.

.

He eklenmesi ^{56}Ni üretimine kadar devam etmektedir. ^{56}Ni radyoaktif olup, sırasıyla aşağıdaki parçalanma sırası meydana gelmektedir:

$^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$. He eklenmesi ^{56}Fe 'de Coulomb itmesinden dolayı durmaktadır. Bu durum 5# gözlemi izah etmektedir.

He eklenmesi aynı şekilde 3# gözlemi açıklamaktadır (çift sayılı atom numaralı elementlerin tek sayılı atom numaralı olanlara nazaran daha bol oluşu ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan testere dişi desen). Çift atom numarası tercihi, sonuçta kuantum mekaniği yasaları tarafından belirlenmektedir.

Bu aynı şekilde 6# gözlemi açıklamaktadır: Tc, Pm tek sayı olan atom numaralarına sahiptirler. Tc ve Pm'nin yokluğuna ilişkin ana neden, bu elementlerin durağan izotop oluşturmamalarıdır.

^{56}Fe 'e kadar olan elementlerin çekirdeklerinde bireysel nükleonların artık kütleleri, kendi çekirdeklerinkinden biraz daha fazladır. Bu kütle eksikliği doğurmaktadır (Δm). Serbest olmaktan ziyade, çekirdekte daha düşük enerji seviyesine sahiptirler.

Bağlama enerjisi = $-\Delta mc^2$ 'dir.

Demirden daha yüksek atom numaralı hiçbir elementi kaynaştıramaz. Güçlü kuvvet ($=10^{-15}$ m) aralığı dışındaki hiçbir element füzyona uğramaz.

Demirin ötesine:

- Atom numarası 26'dan küçük elementlerin füzyonu enerji açığa çıkarmaktadır.
- Atom numarası 26'dan büyük elementlerin füzyonu ise enerji soğurmaktadır.

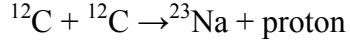
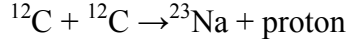
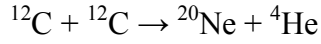
Bu durum muazzam Coulomb itmesinden ileri gelmektedir.

Daha büyük atom numaralı element oluşturmanın yolu, yüksüz çekirdek parçacıkları (nükleonlar) eklemektir: Nötronlar!

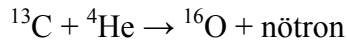
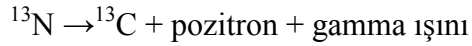
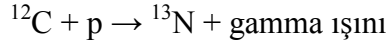
Beta Parçalanması ve Nüklid Çizelgesi

${}^4\text{He}$ sonunda tüketilip tüketilmez, $T \rightarrow 10^9$ K ve C-yanması meydana gelir.

Bu serbest protonlar oluşturur:



Protonlar P-süreci ile yeni elementler oluşturmak için tüketilir:



S-süreci – Yavaş nötron eklenmesi: Bu süreç geç aşama kırmızı devlerinde gerçekleşmektedir. Durağanlık vadisinde bir nüklide bir veya birkaç yeni nötron eklenmesiyle olmaktadır. Bu süreci vadiye tekrar β^- parçalanması izler. Çoğunlukla yalnızca bir nötron eklenmesi. B^+ parçalanması S-süresinde bir rol oynamamaktadır. Bu, durağanlık vadisindeki elementler yalnızca her 10^4 saniyede nötronları soğurduğundan yavaştır.

S-süreci için nötronların kaynakları

