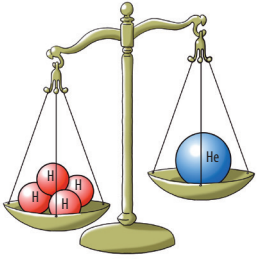


Güneş'in Yanması

Güneş'in "yanması" fizikteki dört temel etkileşimin tamamının etkin olduğu, karmaşık bir süreçtir. Her zaman olduğu gibi enerjinin korunumu yasası Güneş'te de işliyor ve enerji bir formdan başka bir forma çevriliyor. Eddington'un 1926'da öngördüğü gibi, Güneş'in kütesinin bir kısmı enerjiye dönüşüyor. Dünya atmosferinin üst tarafında yapılan ölçümlerde Güneş'ten gelen gücün (1 saniyedeki enerji miktarı) metrekare başına 1400 Watt olduğu bulunuyor. (Kabaca 1 metrekarelik alana 100 Wattlık 14 ampül düşüyor). Buradan yola çıkarak ve Einstein'ın $E = mc^2$ formülünü kullanarak, Güneş'in her saniye yaklaşık 4 milyon ton kadar kütleli enerjiye dönüştürdüğünü bulabiliriz. Bu kütleli enerji önemli bir kısmı ışık (foton) olarak uzaya yayılırken yaklaşık milyonda biri de nötrinoya dönüşüyor.



Güneş'in kütesinin yaklaşık %73'ü hidrojen, %25'i de helyum (karbon, azot, oksijen ve diğer elementlerden az miktarda bulunuyor). Güneş'te enerjinin önemli bir kısmı (%99) 4 hidrojen çekirdeğinin (protonun) helyum çekirdeğine dönüşmesi sonucunda elde edilir. Bir kaç ara basamak içeren bu tepkime şu şekilde özetlenebilir.



Sol taraftakilerin toplam kütesi sağ taraftakilerinkinden yaklaşık %0,7 fazladır (yaklaşık $4,59 \cdot 10^{-29}$ kg). Bu fark nötrinonun enerjisine ve fotona dönüşür. Nötrino, zayıf etkileşen bir parçacık olduğundan kısa bir süre içinde Güneş'i terk eder. Yüksek enerjili fotonlar (gamma ışınları) çinse zorlu bir yolculuk başlar. Etraftaki elektronlar ile sürekli etkileşerek kinetik enerjilerinin önemli bir kısmını tekrar Güneş'in ortamına bırakır ve ortalama olarak ortaya çıkışlarından 1 milyon yıl sonra Güneş'ten görülebilir ışık olarak kaçarlar. (Güneş'ten gelip gözümüze ulaşan fotonların hemen hemen hepsi bu mücadeleden geçmiştir.)

Yukarıdaki tepkime son derece basit görünse de detaylarını anlamak için gerçekten 20. yüzyıl fiziğinin hemen hemen bütün kuramlarını kullanmak gerekiyor. Öncelikle şunu biliyoruz: Helyum çekirdeğinde 2 proton 2 de nötron var. Ancak nötron serbest halde iken "kararlı" bir parçacık değil. Ortalama 14 dakika ömrü olduğundan Güneş'in herhangi bir yerinde nötron bulmanız mümkün değildir. Yukarıdaki sürecin işlenmesi için bir şekilde protonun nötrona dönüşmesi gerekir. Zayıf etkileşim kuramına göre bu mümkün, ancak hayli nadir gerçekleşen bir olaydır. Kütle çekimi sebebiyle, Güneş'in

merkezinin sıcaklığı 15 milyon Kelvin. Bu sıcaklıkta hidrojen atomu iyonize olur yani proton ve elektron, plazma halinde bir gaz oluşturur. Protonlar, aynı elektrik yüküne sahip olduğundan birbirlerini iter. Yani kabaca bakıldığında 2 protonun bir araya gelmesi ve daha ağır bir çekirdeği oluşturması mümkün görünmez. Fakat protonlar birbirlerine yeterince yaklaşabilirlerse, kuvvetli etkileşimle birbirlerini çekecek ve ağır bir çekirdek oluşturmaları mümkün olacak. İki protonun aralarındaki elektriksel itme engelini aşıp birbirlerini kuvvetli etkileşimle çekebilmeleri için ortamın sıcaklığının 100 milyon Kelvin olması lazım! 100 milyon derecelik bir ortamdaysa bu süreç çok hızlı bir şekilde gerçekleşiyor ve Güneş gibi "yavaş yavaş" yanma yerine yıldız süpernova olarak patlıyor.

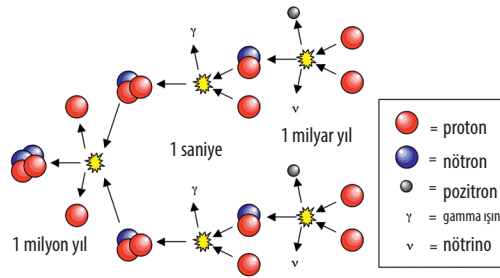


Güneş'in merkezi 15 milyon Kelvin sıcaklığında bir protonun elektriksel itme kuvveti engelini aşır kısa mesafelerde etkin olan kuvvetli etkileşim (çekme) bölgesine girmesi ilk bakışta mümkün görünmüyor. Burada istatistiksel fizik ve kuantum fiziği yardımımıza koşuyor. İstatistiksel fiziğe göre, 15 milyon derecelik bir proton gazı içindeki parçacıkların bir hız dağılımları var, bu hız dağılımlarına baktığımızda, parçacıkların bir kısmı ortalamaya göre çok yavaş, bir kısmı çok hızlı. Çok hızlı olanlar incelendiğinde hızlarının elektriksel engeli aşmaya yeterli olduğu görülüyor. Ancak engeli aşabilenlerin oranı Güneş'teki termonükleer tepkimelerin sıklığını açıklamak için yeterli değil, bunun için kuantum fiziğindeki "tünelleme" sürecine ihtiyaç var. Kuantum fiziği ise bize şunu söylüyor: Bir parçacığın hızı (ya da kinetik enerjisi) bir engeli klasik olarak aşamayacak düzeyde olsa bile, kuantum fiziğine göre o engelden "tünelleme" ihtimali var. Kinetik enerji düşük, bariyer de yüksekse (Güneş'te olduğu gibi) tünelleme ihtimali düşük oluyor. Ama Güneş'teki çok sayıdaki proton bu tünellemeyi sürekli deniyor ve bir kısmı engeli aşır diğer protonun yanına (1 femto-metre mesafenin altına) gelebiliyor. Tabii ki hikâye burada bitmiyor, iki protondan oluşan çekirdek kararlı bir çekirdek değil, elektriksel itme yüzünden 2 protonlu çekirdek anında 2 ayrı protona dönüşüyor ve tekrar başa dönmüş oluyoruz! Yalnız bu iki protonlu çekirdeklerin çok az bir kısmında protonlardan bir tanesi zayıf etkileşimde ters beta bozunması denilen bir süreç ile nötrona dönüşüyor. Yani çok nadir de olsa aşağıdaki süreç gerçekleşiyor:



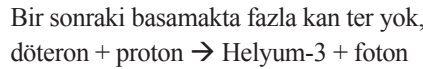
Döteron bir proton ve bir nötronun kuvvetli etkileşimle bir arada durduğu "kararlı" bir çekirdek.

Güneş'te enerjinin elde edilmesi için gerekli ilk basamak yukarıdaki tepkime. Elektron-nötrino olay mahallini terk ediyor. Pozitron ise hemen bir elektron bulup 2 tane yüksek enerjili fotona (gamma ışını) dönüşüyor:



Şekilde süreler ile şu kastediliyor. Örneğin, ilk aşamada 15 milyon kelvin'de sürekli çarpışan iki protonun, bir protondan ve bir nötrondan oluşan kararlı döteron çekirdeğini oluşturması için gerekli ortalama süre 1 milyar yıl.

Bu iki fotonun, çıkacak diğer fotonlar gibi, Güneş'ten kaçma macerasından daha önce bahsettik.



Helyum-3 çekirdeğinde 2 proton 1 nötron var. Çıkan foton yine yüksek enerjili.

Helyum-3 bir başka Helyum-3 bulabilirse Helyum-4 oluşabilir, bunun olması da çok kolay değil, ama ilk basamak kadar da zor değil.



Proton-proton zincirleme tepkimesi bu süreç sonucunda tamamlanmış ve başlangıçtaki protonların toplam kütlelerinin %1'den daha azı enerjiye dönüşmüş oluyor. Bunun yanı sıra Güneş'te karbon-azot-oksijen çevrimi ile enerji elde edilse de, Güneş'teki en etkin mekanizma burada özetle anlattığımız mekanizmadır.

Kaynaklar

- http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1967/bethe-lecture.pdf
- <http://www.spof.gsfc.nasa.gov/stargaze/Sun7enrg.htm>

