

# FUSION

Elizabeth MORRISON  
Communication Magazine'in  
Teknik Yazarı

**B**ir tenis topunun içine pompa ile hidrojen doldurursanız, sıcaklık yaklaşık olarak 55 milyon °C'ya kadar çıkar ve siz bu sıcaklığı düşmeden bir saniye kadar tutabilirsiniz, bir evi bütün kış süresince ısıtacak veya onu bütün yaz süresince soğutacak kadar enerji üretme olanığı kazanmış olursunuz.

Siz böylece güneşin yaptığı şekilde enerji yaratmış olursunuz - nükleer fusion sayesinde.

Fakat sizin yeni bir paket tenis topu satın almadan ve ateşinizi stok etmeden, bilmek isteyeceğiniz bazı şeyler olduğunu anımsamak zorundasınız.

İlk önce aslında böyle bir iş için bir tenis topu kullanamazsınız, paslanmaz çelikten daha büyük bir kaba gereksinimlenir olacaktır. Öte yandan hidrojenin çok düşük bir yoğunlukta bulunmasını sağlamak zorundasınız, bu bizim deniz düzeyindeki yaklaşık yüzbinde biri olacaktır. Bundan başka onu 55 milyon °C'ye ısıtmak (ki bu güneş sıcaklığının 5 katıdır) da pek kolay olmayacaktır. En sonunda bütün güçlüklerin en büyüğü de şu olacaktır: Siz bir kere hidrojenin kaba deşmemesini sağlayamazsanız, bunun için hidrojenin kaba deşmeden hapsedilmesi gereklidir.

Bu oldukça karmaşık bilimsel bir problem olmaya başlamıyor mu? Princeton Üniversitesi Plasma Fizik Laboratuvarındaki fizikçiler de bunun böyle olduğunu kabul edeceklerdir. Gerçekten bu onların üzerinde 25 yıldan beri uğraştıkları bir problemdir ve bunun tamamıyla çözülmesi bir o kadar daha sürecektir. Bu New Jersey Laboratuvarı dünyanın en ileride fusion araştırma merkezlerinden biridir. Birleşik Amerika'daki bütün fusion araştırma tesisleri gibi Princeton laboratuvarı da Hükümet tarafından yapılmıştı ve devamlı finanse edilmektedir.

Birleşik Amerika'da yalnız 1977 mali yılı için, Federal Hükümet fusion araştırması için 408 milyon dolar ayırmıştır. Bu kadar büyük bir paranın ayrılmasının nedeni nedir? Çünkü bunun ile elde edilebilecek başarı muazzam bir şey olabilirdi. Eğer dünyada nükleer fusion'u sınırlamayı başarabilirsek, o zaman dünyanın gelecek milyon

## Arka kapaktaki renkli resimlere bakınız!

yıllardaki enerji gereksinimlerini karşılayabilecek temiz, güvenilir ve çevre sorunları olmayan bir enerji kaynağı elimize geçmiş olacaktır.

Dünyanın çoğunluğunun alışmış olduğu yakıt üretiminin azaldığı bir anda ve üretilmesi düşünülen yeni enerji üretme yöntemlerinin arasında fusion özellikle en umut verici görünen gelecek yakıt kaynağıdır. Amerikan Enerji Araştırma ve Geliştirme Yönetimi (ERDA) en fazla umut verici uzun vadeli iki enerji kaynağından biri olarak onu görmektedir. İkincisi ise güneş enerjisidir ki bundan Bilim ve Teknik'in Ağustos 1978 sayısında söz edilmiştir.

En parlak umudumuz olmasına rağmen kontrollü nükleer fusion daha bir gerçek olmaktan çok uzaktır ve hiç kimse onun ne zaman bir gerçek olabileceğini, hatta birgün tamamıyla bir gerçek olup olamayacağını şimdiden bilemez.

Bugünkü amacımız 1990'ların sonunda hiç olmazsa gösteri olarak fusion reaktörlerini işletmeye açmaktır, diyor Anthony De Meo, Princeton Plasma Fizik Laboratuvarlarının sözcüsü, ve ekliyor "ve bundan sonra biz iş hayatına girecek ilk fusion enerji fabrikalarını (istasyonlarını) 21. yüzyılın başında görmeyi umuyoruz".

Bu takvim, devamlı ve gittikçe artan hükümet fonlarının, fusion araştırmasına akan kontenjanlarıyla sıkı sıkıya bağlıdır. Bu aynı zamanda olmamasını dilediğimiz birkaç arızayı da içine almaktadır.

"Amaçlar üç varsayıma göre tahmin edilmiştir" De Meo açıklamaktadır: "Birincisi, bizim bilimsel feasibility (olabilirlik) göstermemiz demektir, yani bir reaktör için gerekli olacak koşullar altında, nükleer fusion üretme ve kontrol etme niteliği sağlanmak zorundadır.

İkinci olarak, biz mühendislik yeteneklerimizin, teknik bakımdan tam işleyebilecek bir fusion reaktörünün kuramsal ve pratik tasarımı (design) ve konstrüksiyonunu yapmaya yeterli olduğunu kabul etmek zorundayız.

Ve sonunda bilimsel ve mühendislik güçlükleri yenildiği takdirde bile, biz ekonomik olabilir-

**Princeton Üniversitesinin "Tokamak"ı  
Bu deneme reaktöründe şimdilik  
dünyanın en yüksek sıcaklığı  
elde edilmektedir.**

lik'i karşılayabilmek zorundayız. Doğal olarak elimizde işletmesini inceleyebileceğimiz bir prototip bulunmadığı sürece bir fusion reaktörünün tam anlamıyla ayrıntılı ekonomik durumunu bilemeyiz".

Ceriye kalan daha birçok güçlülere rağmen, fusion araştırması ilk 25 yılında oldukça yol almıştır.

Araştırmacıların, fusion'un adı hidrojenle olanaklı olduğunu bulmalarına rağmen, dünyada enerji üretmek için iki tür hidrojen daha pratik olacaktır: Deuterium ve tritium.

Deuterium her türlü su da vardır. Okyanus suyunun her litresi 1/40 gram deuterium içerir, ve bu yakıtın bir yüksük dolusu 285 litre benzin üretmesine eşit bir fusion enerjisi üretebilecektir.

Dünyanın Deuterium stokları ise 10 milyon x milyon tondan daha fazla olarak tahmin edilmektedir. Tritium doğal olarak dünyada bulunmadığına göre, lithium'dan kolayca üretilebilir, bu yerin kabuğunda ve okyanusların suyunda bol miktarda vardır.

Bir fusion reaksiyonunda, iki atom çekirdeği şiddetle çarpışır ve eriyerek birleşirler (fusion). Fusion reaksiyonları son derece yüksek sıcaklıklara gereksinime gösterirler, çünkü eriyebilmeleri için çekirdekler muazzam bir hızla çarpışmak zorundadırlar. Bütün çekirdekler pozitif elektriksel yükler taşırlar ve onlar birbirini reddederler. İşte bu doğal uzaklaşmayı yenebilmek için olağanüstü yüksek hızlarla hareket etmek zorundadırlar, ve ne kadar sıcak olurlarsa, o kadar hızlı hareket ederler.

Fakat bir yakıtı 55 milyon derece gibi yüksek bir sıcaklıkta ısıtabilmek ve sonra bu sıcaklığı ek bir fusion enerji üretebilecek kadar uzun zaman ayakta tutabilmek için ne yapılmalıdır?

İşte burada birbirinden ayrı iki düşünce okulu vardır ve bunlar bugünün fusion araştırmalarında uygulanan esas yaklaşımlardır. Princeton Laboratuvarında ve dünyanın çoğu fusion araştırma merkezlerinde bilim adamları "magnetic confinement = manyetik tutsaklık" yöntemiyle deneylerini yapmaktadırlar. "Laser - pellet" adı verilen seçenek ise, o da ABD'de ve dış ülkelerde geniş ölçüde uygulanır. (Pellet, ufak top, hap anlamında).

Princeton bilim adamları çok yüksek sıcaklıkta gazlarla çalışmaktadırlar. Onlar gazı bir vakum odasında tutsaklayabileceklerini, reaksiyon derecesine kadar ısıtacaklarını ve bu sıcaklığı hiç olmazsa bir saniye sürdürebileceklerini ummaktadırlar.

55 milyon derece gibi yüksek bir sıcaklıkta, bir gazın içindeki tanecikler saniyede ortalama 1100 kilometrelik bir hızla hareket ederler. Herhangi bir şekilde kısılmadıkları takdirde bütün bu tanecikler bir saniyenin çok ufak bir parçasında vakum odasının duvarlarına çarparlar.

Bu bir sorun meydana getirir, çünkü bir tanecik duvara çarptığı her zaman, enerjisinden bir miktar yitirir (yani hızı azalır), ve gaz da soğur. Bundan dolayı gazın kabın duvarlarına değmesine müsaade edildiği takdirde istenilen ultra yüksek sıcaklığı korumaya olanak kalmaz.

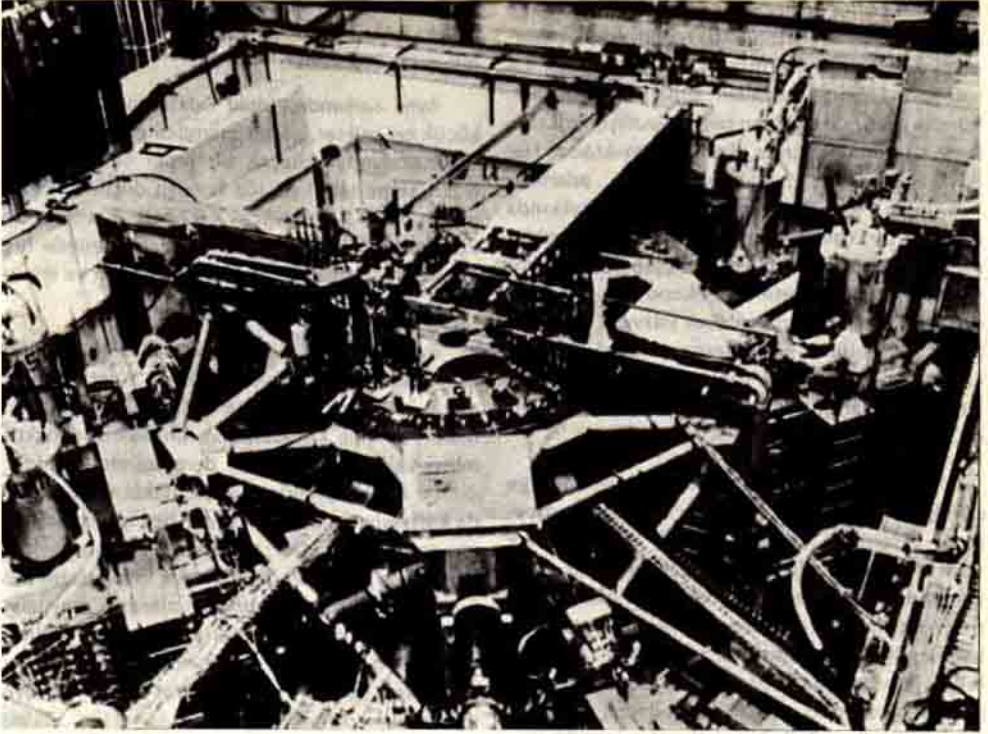
Öyleyse sorun gazı ona değmeden tutsaklamak olacaktır. Hiç olmazsa kuramsal olarak problemin bir çözümü vardır: manyetik tutsaklama. Manyetik alanlardan faydalanarak, gazı kabın duvarlarından uzak tutmak olanaklı olmalıdır, zira elektriksel yüklü parçalar bir manyetik alan tarafından frenlenebilir.

Normal koşullar altında bir gaz manyetik bakımdan nötr, yansızdır. Bununla beraber Ultra yüksek sıcaklıklarda gaz iyonize olur. Elektronlar ve çekirdekler birbirlerinden ayrılır ve bireysel yüklü parçacıklar halini alırlar. Bu ionizasyon 8400 °C'un üstündeki sıcaklıklarda başlar. Sıcak iyonize bir gaza bir "plazma" adı verilir.

Bir plazmayı manyetik olarak tutsaklayabilmek için ek bir koşul da yoğunluğunun çok düşük tutulması zorunludur, veryüzünde deniz düzeyindeki havanın yoğunluğunun yaklaşık yüzbinde biri kadar. Eğer o daha yoğun olursa plazma kararlılığını yitirebilir. Manyetik tutsaklama üzerinde çalışan Fusion araştırmacılarının şu anda kafalarındaki en önemli soru şudur: Manyetik alanların kuvveti, bir plazmayı fusion için gereken sıcaklıkta etkili bir surette tutsaklamaya yetecek midir?

Şu anda plazmayı yeter derecede tutsaklamayı başarabilecek manyetik alanları üreten birçok model vardır ve bunların arasında maliyeti en yüksek olanı "Tokamak" adı verilmektedir. Tokamak düşüncesi ilk olarak 1950'lerde Rus bilim adamları tarafından geliştirilmiştir. 1969 danberi Princeton laboratuvarında yapılan deneylerin çoğunda tokamak tipi deneysel modellerden faydalanılmaktadır.

Tokamak tipi bir aygıtta fusion plazması paslanmaz çelikten halka şeklinde bir kabın içindedir. Kabın çevresini saran muazzam manyetik



bobinler çok kuvvetli bir manyetik alan meydana getirirler ve plazmanın içinden geçen bir elektrik akımı ikinci bir alan oluşturur ki bu birincisine dikey, ve yaklaşık olarak onun onda biri kadar kuvvetlidir. Bu ikisinin bileşkesi olarak meydana gelen manyetik alan ise yılankavi ya da helis, sarmal şeklindedir. Princeton bilim adamları geçenlerde dünyanın en büyük tokamak'ı ile çalışmaya başladılar, buna Princeton Large Torus (PLT) adını verdiler.

Bu tasarımı yapıp yapımı bittikten 3,5 yıl sonra Aralık 1975'te işletmeye sokuldu, maliyeti 14 milyon dolar tuttu. Her standarda göre ağır ve som olmasına rağmen, 150 ton PLT gelecek için planlanan reaktör prototiplerinki kadar ağır ve büyük değildir.

ABD'de tam ölçüde bir reaktör için halen Princeton'da ilk tokamak planlanmaktadır. Tokamak Fusion Test Reaktörü (TFTR) aygıtı deuterium - tritium fusion'unun bilimsel olabirliğini tokamak sisteminde deneyeceklerdir. Araştırmacılar yanan plazmanın fiziğini ve tokamak reaktörlerinin mühendislik niteliklerini incelemek için TFTR'i kullanacaklardır.

TFTR işletmesi 1981 için takvimlenmiştir, tasarım ve yapımının maliyetinin 228 milyon doları bulacağı tahmin olunmaktadır, bu eskiden yapılan bir tek Princeton deneyinin 10 katından

tazıdır. Çünkü projeye alınan bütün fusion reaktörlerin durumunu stimüle edecektir, bu tokamak sistemdeki bir fusio'nun bilimsel ve mühendislik olabirliğini saptamak sürecinde çok önemli bir adım olacaktır. Başarı elde edildiği takdirde daha mükemmel deneysel fusion reaktörlerinin yapımına giden yolu açarak, başarısızlığı karşısında ise, fusio'nun gelişmesi ve kontrolün manyetik tutsaklamak şeklindeki yaklaşımı ortadan silecek kadar kuvvetli bir patlama etkisi yapacaktır.

Princeton bilim adamları TFTR'in öteki seçeneği, Laser-pellet yöntemini oluşturan projelerden gelecek oldukça sert bir rekabetle karşılaşmayı da ummaktadırlar.

Laser-pellet araştırmacıları bir plasmadan faydalanacak yerde dondurulmuş deuterium-tritium karışımından mini mini haplar, ya da granüller yapmak ve bunları bir reaksiyon odasına fırlatarak çok kuvvetli bir laser ışını ile saniyenin bin milyonda biri bir sürede 55 milyon °C'ye ısıtmayı düşünmektedirler. Haplar patlamaya başlayınca, fusion reaksiyonları oluşmaya başlayacak ve patlamanın enerjisini 100 katına çıkaracaktır. Bütün bu olay bir saniyenin ufak bir parçasında meydana gelecek ve devamlı olarak yineleneyecektir.

Laser-pellet sistemini inceleyen Amerikan Araştırma Merkezlerinden biri California Üniversitesi Lawrence Livermore Laboratuvarıdır. "Livermore Laboratuvarından alınan bilgiye göre, burada üzerinde çalışılan takvim manyetik tutuklama sisteminin zaman planına uymaktadır. Her iki yaklaşımdan faydalanan bilim adamları 1980'lerde sistemlerinin olabilirliği hakkında mantıklı bir cevap verebileceklerini sanmaktadırlar. Reaktör prototipleri bu hesabı izleyecektir ve bundan sonra işletmenin ekonomik verimliliği ölçülebilecektir, bu da gelecek yüzyılın başlarına kadar sürebilir". Haberleşme uzmanı Jeffer Garberson bu bilgilere şunları da eklemektedir: Laser-pellet araştırmalarının da gelecek on yıllarda çözmeleri gereken sorunları vardır:

"Bizim ilk amacımız bilimsel ilkeleri pratiğe dönüştürmektir, yani küçük bir haftan meydana gelen bir hedef yapmak, onu etkince yapmak ve geliştirdiği enerjiyi yakalamaktır. Aynı zamanda yeter derecede kuvvetli olan ve o derecede hızlı ateş eden bir laser'i yapmanın teknik güçlüklerini yenmek zorundayız. Şu anda böyle laser'ler piyasada yoktur. Bundan dolayı biz laser fusio'nun mümkün olabilmesi için laser teknolojisinde çok ilerlere bakmak zorundayız.

Sonunda, manyetik fusion'da olduğu gibi, ekonomik durum daha tamamiyle bilinmemektedir. Bizim bu hususta hiç bir bilgimiz yoktur ve aslına bakılırsa, biz bilimsel ve teknik olurluğu hesap etmedikçe ki bu da böyle bir sistemin işletilmesinden önce yapılamaz, bu karanlığı da aydınlatamayız.

Şu anda kimse söz ettiğimiz iki yaklaşımdan hangisinin (Laser-pellet ya da manyetik tutsaklamak) gelecek on yıllarda yapılması planlanan testleri başarıyla atlatabileceğini bilemez.

Şimdiye kadar elde ettiğimiz bilgilerden her iki sistemin de birgün fusion enerjisi üretiminde kullanılabileceğini varsayabiliriz.

Deuterium rezervlerimiz milyonlarca yıl yetişir, lithium'a gelince birkaç bin yıl. Bilim adamları fusion reaktörlerinin ikinci kuşağının yakıt olarak yalnız deuterium kullanacaklarını ve böylece lithium azalmaya başlamadan lithium'un ortadan kalkacağını ummaktadırlar. Deuterium ve lithium'a bugün bütün uluslar sahiptirler.

Fusion enerji istasyonlarının görece güvenliği de bir üstünlük olacaktır. Bir fusion reaktöründe de radyoaktif materialler söz konusudur, tritium radyoaktiftir, fakat etkili yakıt bir yerden sızsa

bile sağlık için yapacağı görece zarar düşük olacaktır, bir nükleer fusion reaktöründekinin bir milyonda biri kadar.

Aynı zamanda, tepki odasında daima çok küçük bir miktar, yarım gramdan daha az, yakıt bulunacağından, kaçak bir tepki ya da eriyip dışarı akma tehlikesi söz konusu değildir. Sızan plazma derhal soğuyacak ve böylece tepkiyi de durduracaktır. Nükleer fusion reaktörlerinde hiç olmazsa kuramsal olarak kaçak bir tepki ve eriyip dışarı akma olanaklıdır.

Bundan başka bir nükleer reaktörün kalıntı ürünleri tekrar devreye sokulmak suretiyle otomatik silâhları yapmakta kullanılabilir. Fusion reaksiyonunda kullanılan ve üretilen radyoaktif materyaller silâh yapım derecesinde değildir. Bunlar hiç bir şekilde atomik silâhların yapımında kullanılamaz. Çünkü onlar her fusion reaksiyonunda nötronlar tarafından bombardıman edilir. Kap duvarları tepkilenirler ve bunların her 5 - 10 yılda bir değiştirilme olasılığı meydana çıkar ve kullanılan material gömülür. Kalıntı ürünlerinin çok kısa radyoaktif yarı ömürleri —yaklaşık 30 yıl— hatta onların tekrar devreye sokulmasını olanaklı kılar.

Fusion'da kimyasal yanma söz konusu değildir, bu yüzden fusion enerji istasyonları yanmadan çıkan gazlarla çevre atmosferini kirletmezler. Fusion reaktörlerinin ürettiği bir ısısal boşaltma vardır, fakat bu yan ürün binaların ısıtılması ve soğutulması için mükemmelen kullanılabilir.

Nükleer fusion'un enerji ufkundaki en parlak umutlarımızdan biri olacağı görünmektedir. Fakat bu bir ilgım (serap) da olabilir. Daha atlatılması gereken birçok bilimsel ve mühendislik engelleri vardır ve ticarî fusion enerjisinin bir gerçek olabilmesi için daha maliyet konusu ve enerji verimliliği ile ilgili sorunlar hakkında da bir karara varılması gerekir. Fusion'un, elimizdeki bütün kanıtlara göre temiz, güvenilir ve çevre bakımından çekici görünmesine rağmen, gerçek çalışan prototiplerin yapılmasından ve değerlendirilmesinden önce tam bir karara varmaya olanak olmayacaktır.

Herhalde, yüzyılımız bitmeden önce Princeton Üniversitesi bilim adamları ve bütün dünyadaki arkadaşları, nükleer fusion'un, geleceğin enerjisinde ne gibi bir rol oynayacağı hakkında kesin bir söz söyleyecek durumda olacaklardır.