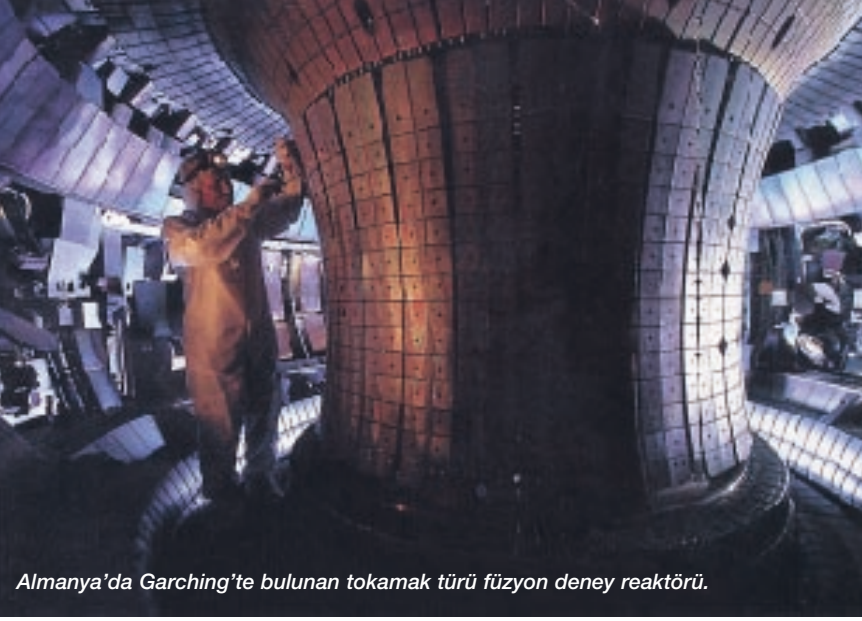


Füzyon Enerjisinde Yeni Arayışlar



Almanya'da Garching'te bulunan tokamak türü füzyon deney reaktörü.

Herkese istediği kadar enerji... Üstelik ucuz. Dahası çevremizi ve atmosferi kirletmiyor. Işıl ışıl kentler, sıcak evler... Bilim adamları insanlığın yüzlerce yıllık düşünü gerçekleştirmek için, yıldızların yaptığını laboratuvarlarda gerçekleştirmeye çalışıyorlar. Ancak mali sorunlar ve eşgüdüm eksikliği ayak bağı olmaya devam ediyor. Gene de ortaya atılan yeni düşünceler, daha ileri tasarımlar önümüzdeki yüzyıl ortalarında meyvelerini verecek gibi görünüyor.

YILDIZLARIN yaptığı gibi hidrojen atomlarını birleştirerek bol ve ucuz enerji elde etmek, teknolojik güçlükler ve yaşanan düşkünlüklerine karşın bilim adamlarının rüyalarını süslemeye devam ediyor. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan "tokamak" türü füzyon deney reaktörlerinin daha gelişkin türlerini yapma çabaları sürerken, araştırmacılar bir yandan da köktenci yeni tasarımları deniyorlar.

Füzyon enerjisi, yıldızların çok sıcak merkezlerinde (yaklaşık 1.5 milyon derece) ve muazzam kütleçekimi alanlarının yarattığı basınç altında ortaya çıkıyor. Bu süreçte iki sıcak ve hafif atom çekirdeği (hidrojen) çarpışarak birleşiyor. Ortaya çıkan ürün, çok hızlı bir serbest nötron ve yeni, enerjik bir atom çekirdeği (helyum). Gerçi insanoğlu, bu enerjiyi termonükleer silah (hidrojen bombası) denemelerinde çok kısa süreler için elde edebiliyor. Oysa günlük yaşamımızda gereksinme duyduğumuz enerji için bu füzyon

yavaş, düzenli ve sürekli olmalı. Gereken hammadde de bol. Döteryum ve trityum gibi ağır hidrojen izotopları okyanuslarda yeterince var. İş, birleştirilecek atomların yeterli yoğunlukta bir arada tutulması ve anlık değil, sürekli bir birleşme (füzyon) süreci sağlanabilmesi.

Füzyon fizikçilerinin çabalarına sekte vuran, yalnızca yeterli olgunluğa erişememiş teknoloji değil. Deney aygıtlarının bile çok büyük fiyat etiketleri taşıması ve bu nedenle hükümetlerin araştırma fonlarını giderek kısıtlaması da önemli bir darboğaz. Nitekim ABD Kongre'sinin geçen yıl aldığı bir kararla 10 milyar dolarlık Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü (ITER) projesine ülkenin katkısını veto etmesi bu alandaki araştırmalara büyük darbe vurdu.

Füzyon enerjisi alanında hızlı ilerlemeyi engelleyen bir başka öğe de, araştırmalar arasında eşgüdüm eksikliği ve taban tabana karşıt stratejiler. ABD'de füzyon fizikçileri başlıca iki kampa bölünmüş bulun-

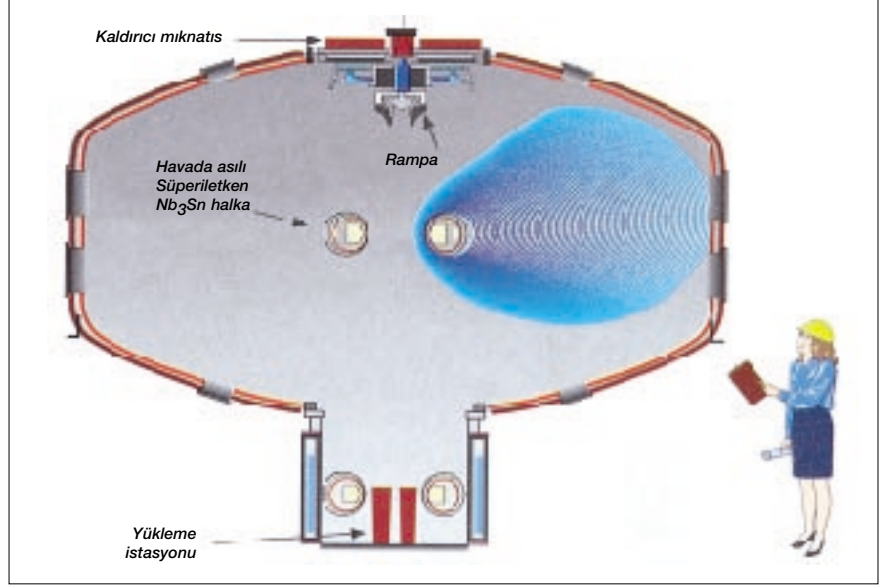
yorlar. Bunlardan biri Eylemsiz Füzyon Enerjisi (Inertial Fusion Energy = IFE). Bu alanda çalışmalar, küçük bir yakıt tabletinin güçlü lazerlerle bombardıman edilmesi temelinde yürütülüyor. Karşı kamp ise Manyetik Füzyon Enerjisi (MFE) yandaşlarını bir araya getiriyor. Bu gruptaki deneylerde de yakıt, güçlü mıknatısların yarattığı manyetik alanlara hapsedilerek içindeki atomların birleştirilmesine çalışılıyor.

ABD Kongresi'nin darbesinden sonra, alanı daha büyük yıkımdan korumak isteyen füzyon fizikçileri, bir işbirliği arayışı içinde Temmuz sonunda Colorado eyaletinin Snowmass kasabasında bir araya gelerek iki hafta süreyle karşılıklı projelerini değerlendirdiler. Ortaya çıkan dostluk ve işbirliği ruhuna karşın araştırmaları bütünleyecek somut bir ilerleme sağlanamadı. Son yıllarda hızla gelişen ve daha çok parasal destek bulan Lazer füzyonu yandaşları hâlâ kendi tuttıkları yolun en iyisi olduğu görüşündeler. Buna karşılık daha kalabalık grubu oluşturan manyetik

füzyoncular da, lazerin hem çok pahalı, hem de düşük etkinlikte bir füzyon aracı olduğu görüşünü koruyorlar.

Ancak bu kampta da tokamak türü reaktörlerle rakip tasarımlar arasında mücadele keskinleşiyor. İlk kez Ruslar tarafından geliştirilen tokamak türü füzyon reaktörlerinde, plazma denen iyonlaşmış (elektronları yörüngelerinden kopmuş) atomlar ve elektronlar bir gaz bulutu halinde çok güçlü mıknatısların yarattığı manyetik bir alana hapsedilerek ısıtılıyor ve birleşmeleri sağlanıyor. Gerçi, bu makinelerde çok kısa sürelerle çok güçlü enerji düzeyleri elde edilebiliyor; ama simit biçimindeki tokamakların bir kusuru var: Hemen hepsinde ortaya çıkan bir türbülans nedeniyle plazma, sistem dışına kaçıyor. Bu sızıntıyı önlemek aslında olanaklı, ama bunun için de çok büyük boyutlu makineler gerekiyor. Sorun yalnız plazma kaçağı değil. Tokamaklar ve benzeri türden reaktörler, döteryum ve trityumu birleştirerek helyuma çeviriyorlar. Serbest kalan çok sayıda nötron, reaktör duvarına çarparak ısı bırakıyor. Isıysa elektrik üretiminde kullanılıyor. Ancak nötronlar bir süre sonra reaktör parçalarını radyoaktif hale getiriyor ve bu da, bir biçimde ortadan kaldırılması gereken tonlarca ağırlıkta tehlikeli madde ortaya çıkartıyor. Nötronlar ayrıca biyolojik bir tehlike olduklarından, tokamak reaktörlerin çok etkin bir biçimde çevreden yalıtılmaları gerekiyor.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) Plazma Bilimi ve Füzyon Merkezi araştırmacılarından Jay Kesner'in tasarladığı füzyon makinası, bu sorunları ortadan kaldırmaya aday. Üç metre yüksekliğinde ve beş metre çapında, balkabağı görünümündeki makinenin en ilginç yanı, odanın ortasında havada asılı duran bir halka. Bu aslında 500 kg ağırlığında, çift kutuplu (dipol), süperiletken bir mıknatıs. Halka, plazma odasının tepesindeki bir mıknatıs tarafından yerinde tutuluyor. Karmaşık teknolojiye dayanan pahalı tokamaklara karşılık, Asılı Dipol Deneyi (Levitated Dipole Experiment – LDX) adı verilen füzyon reaktörü, son derece basit bir tasarıma sahip.



Akım taşıyan halkalar (LDX'in merkezindeki çember gibi) ve sıradan çubuk mıknatıslar, manyetik alan biçimlerinin en basiti olan dipol alanlar yaratıyor. Gezegenlerin manyetik alanları da bu türden. Aslında makineye ilham veren, Güneş Sistemi'nin en büyük gezegeni olan Jüpiter. 1980'li yılların sonlarında Voyager II uzay aracı, Jüpiter'in manyetosferindeki alanlara hapsolmuş plazma saptayınca araştırmacılar harekete geçmiş.

LDX tasarımının tokamaklara göre bir avantajı, türbülansı önlemesi. Tokamak türü reaktörlerde plazmayı reaktör duvarlarına değmeden (dolayısıyla soğumadan) simit biçiminde odada tutabilmek için duvar boyunca dizilmiş çok güçlü mıknatıslar kullanılıyor. Buysa, bazı fizikçilere göre "bir jöleyi lastik bantlarla bağlamaya çalışmakla aynı şey". Oysa LDX'in havada duran mıknatısı, plazmayı içeriden kendi üstüne doğru çekiyor ve böylece kontrolü kolaylaştırıyor.

Kesner'in geliştirdiği tasarım şöyle işliyor. Termal olarak yalıtılmış bir niobyum-kalay telinden oluşan halka, önce vakum odasının tabanında, araştırmacının "yükleme istasyonu" diye adlandırdığı bir yere konuyor. -258°C sıcaklıkta süperiletken hale gelen tel, -268°C'ye kadar soğutuluyor ve bir akım uygulanıyor. Makinenin yapımı tamamlandığında araştırmacılar teli bir vinçle tabandan 1.5 m kadar yükseğe kaldıracaklar, daha sonra da tepede bulunan bir

mıknatısı devreye sokacaklar. Teldeki akımı etkileyecek kadar güçlü olmayan mıknatıs, halkayı kaldırıp sekiz saat süreyle reaktör odasının ortasında havada asılı tutacak. Plazma, mıknatıstan yayılan manyetik kuvvet çizgilerine hapsolarak simit biçiminde sıcak bir bulut halinde halkanın ortasından geçen bir akışla dönüp duracak. Sekiz saatin sonunda, ısınan halka indirilerek yeniden soğutulacak.

Dipol esaslı reaktörler ışıнімdan doğan tehdidi de en alt düzeye indiriyorlar. Çünkü yüksek plazma tutma yetenekleri sayesinde daha nitelikli yakıt kullanabiliyorlar. Bu yakıtların tepkime ürünleri, nötron yerine foton ve yüklü parçacıklar. Fotonlar, reaktör duvarını ısıtarak enerji üretimi sağlarlar, yüklü parçacıklarsa, manyetik alan içinde hapis kalırlar. Dipol reaktörleri için bu gelişkin yakıtları kullanmak bir yeğleme sorunu değil, bir zorunluluk. Çünkü (yüksüz oldukları için) mıknatıslarla tutulamayan nötronlar, mıknatısı delegecek, ısıtacak ve sonunda süperiletkenliğini yitirmesine yol açacaktır. Gelişkin yakıtların bir üstünlüğü de reaktör parçalarını radyoaktif yapma ve reaktör personeli için tehdit oluşturma olasılıklarının düşük bulunması.

MIT ve Columbia Üniversitesi (New York) işbirliğiyle yapımı sürdürülen ve 6 milyon dolara mal olacağı hesaplanan LDX, 2000 yılı yazında hizmete girecek. Bununla birlikte ilk deneyler, dipol temelli bir makinenin füzyon koşullarını yara-

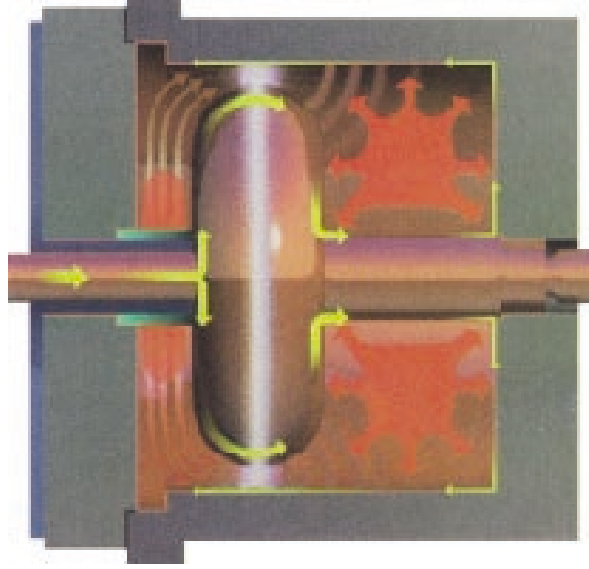
tıp yaratamayacağını belirlemeye yönelik olacak. Füzyon aşamasına "şimdilik" geçilemeyecek. Zaten bu makinelerden enerji üretiminde yararlanmak için bir süre beklememiz gerekecek. Nedeni, makine için en uygun yakıtın döteryum ve He³ karışımı olduğunun düşünülmesi. Buyusa, iki proton ve bir nötron içeren bir helyum izotopu. Üstelik Dünya'da da kıt. Sıradan atom reaktörleri (atom çekirdeğini parçalayarak enerji elde edenler) bir miktar He³ üretebiliyorlar, ama bu da bilimsel deneyler için kullanılıyor.

Ancak Kesner, asılı dipol temelli enerji santralleri için gereken yakıtın Ay'dan sağlanabileceğini söylüyor! Çünkü Dünya'da çok az bulunan He³, doğal uydusunda görece bol olan bir madde. Araştırmacı içinse yakıt zaten bugünün sorunu değil. Çünkü enerji üretiminde kullanılacak dipol reaktörlerin geliştirilmesi için daha en azından onlarca yıl gerekecek. O zamana kadar da Ay'da helyum madenleri çalışmaya başlayabilir, diye düşünüyor olsa gerek.

Öteki füzyon fizikçileriye, dipol reaktörlerinin enerji üretim potansiyeli konusunda o kadar iyimser değiller. Princeton Üniversitesi İleri Füzyon Tasarımları Grubu Başkanı Dale Meade, bu tür reaktörlerle ilgili olarak daha pek çok sorunun çıkabileceğini söylüyor. Ona göre geleceğin kontrollü füzyon makineleri için en güvenilir modeller hala tokamaklar ve aynı anlayış üzerine tasarlanmış makineler. Bununla birlikte Meade, LDX'in diğer makinelerde kararlı biçimde plazma tutulumuna yardımcı olacak "harika bir deney aracı" olduğunu vurgulamaktan geri kalmıyor.

Başkaları da, büyük çaplı araştırmaların bütçe kısıntılarıyla baltalandığı bir dönemde, akılları tokamaka takmak yerine, "birakalım yüz çiçek birden açsın" diyorlar.

Aslında açmaya başlayan çiçeklerin sayısı az değil. LDX'in dışında tokamaklara alternatif olarak tasarım ya da yapım aşamasında olan füzyon makinesi modelleri şunlar:



Çapraz akımlar: Manyetize hedef füzyonunda plazma (kırmızı), elektrik akımınının ve kendi manyetik alanının etkileşimiyle sıkıştırılıyor.

Stellaratörler: Tokamakların en ciddi rakibi olarak tanınan bu makinelerin en belirgin özelliği, bir plazma odasını çevreleyen sarmal biçimde dizilmiş mıknatıs halkaları. Bunların ürettiği bükülmüş manyetik alanların, tokamak türlerinde kullanılan düzgün alanlara göre türbülansı daha iyi denetim altına alacağına inanılıyor. Bu tasarımdaki deney aygıtlarından biri Japonya'da (Large Helical Device – Büyük Sarmal Aygıt), biri de ABD'nin Wisconsin Üniversitesi'nde (Helically Symmetrical Experiment – Sarmal Simetrik Deney) bulunuyor. Benzer tasarımda deney aygıtları da Almanya, Avustralya ve İspanya'da projelendirilmiş durumda.

Küresel toroidler: Aslında tokamakların bir türü, ancak simitin ortasındaki boşluk alabildiğince küçültülmüş. Bu tasarımdaki füzyon de-



Ateş topu: Princeton'daki Ulusal Küresel Torus Deneyi.

ney reaktörleri, çekirdekli birer elmaya benziyorlar. Plazmayı tutacak manyetik alan yaratmak için, tokamaklar gibi birbiri içine geçmiş mıknatıs halkalardan yararlanıyorlar. Ancak kararlı manyetik alan çizgilerinin uzunluklarının arttırılması yoluyla plazmayı çok daha etkin biçimde hapsedebiliyorlar. Bu aygıtlardan biri İngiltere'nin Cullham Bilim Merkezi'nde, biri de ABD'deki Princeton Üniversitesi'nde bulunuyor.

Ters-alan sıkıştırıcıları:

Şimdilik füzyon teknolojisinde fazla iddialı değiller. Bunlar da tokamaklar gibi simit biçimli, ama mıknatısları daha küçük olabiliyor. Nedeni, araştırmacıların plazmanın kendisinde bir akım yaratmaları. Bu da plazmanın oda içinde bir ırmak gibi akmasını ve kendi manyetik alanını kendinin yaratmasını sağlıyor. Manyetik alan plazmayı sıkıştırıyor ve oda duvarlarından uzakta tutuyor. Wisconsin Üniversitesi'nde var.

Spheromaklar: Simidin ortasındaki deliği tümüyle ortadan kaldırarak bir "küremak" elde ediliyor. Ters-alan sıkıştırıcıları gibi bunlar da plazma tutucu manyetik alanlar yaratmak için kısmen plazma içindeki akıma dayanıyorlar. ABD'nin Pennsylvania eyaletindeki Swarthmore College'de ve California'da Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'nda spheromak programları üzerinde çalışılıyor.

Tokamak ya da başkası olsun, füzyon reaktörlerinin önümüzdeki yüzyılın ortasından önce ciddiye alınabilecek bir enerji kaynağı haline gelebileceğini düşünenlerin sayısı pek az. Onlara göre 500 kiloluk bir mıknatısı havada asılı tutmak teknolojik bir başarı sayılabilirse de, bu, Güneş'e ve yıldızlara güç veren füzyon cinini yakalayıp bir lambaya hapsedmeye benzemiyor.

Raşit Gürdilek

Kaynaklar
Glanz, J., Common Ground for Fusion, *Science*, 6 Ağustos 1999
Riordon, J., Fusion Power From a Floating Magnet?, *Science*, 6 Ağustos, 1999