

GELECEĞİN ÇEKİRDEK KAYNAŞIM REAKTÖRLERİ

T.A. HEPPEHEIMER

Güneşin merkezinden, her saniyede 4 milyon tonu aşkın hidrojen, kaynaşım tepkimesi yapıyor. Işık ve ısı biçiminde bize ulaşan bol miktardaki enerji, bu dinamik kaynaşım sürecinden çıkıyor. Fizik yasalarına uygun olarak gerçekleşen bu birleşmeyi, yer üzerinde de gerçekleştirebilme girişimi, fiziğin şimdiye dek rastladığı en güç teknik sorun oldu.

Yine de, çekirdek kaynaşmasına çok önem verilmiştir: Amerikan Enerji Bakanlığı, yalnızca araştırma amacı ile, iki dev aygıt için yatırım yapmaktadır. Princeton'daki TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor: Tokamak Kaynaşım Sınama Reaktörü), beş katlı yapı yüksekliğinde, 45 m kadar uzunlukta ve 31 m kadar genişlikte bir yapıya yerleştirilmiştir. Reaktörün miknatıs kangalı, 19,12 m çapındaki kocaman halka desteklere sarılmıştır. Oakland yakınlarındaki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'nda ise, MFTF (Mirror Fusion Test Facility: Aynalı Kaynaşım Sınama Kuruluşu) bulunmaktadır. Bu reaktör, bir Boeing 747 uçağının gövdesinden daha büyük bir çelik silindirden oluşur; bu silindirin iki ucunda, iki katlı bir yapı yüksekliğinde ve yaklaşık 400 ton ağırlığında birer "yin-yang (dişil-eril)" miknatıs (aynı miknatıs içinde bulunan iki miknatıs) vardır. Bu dev birleşimler, çapları bir santimetrenin trilyonda birinden daha küçük olan atom çekirdeklerini kaynaştırmak için düzenlenmişlerdir.

Bu koca devler "daha büyük olan, daha iyidir" düşüncesinin doğmasına neden olmuşlardır. Günümüzde, MIT'nin kaynaşım aygıtı olan Alcator C, bu stratejiye karşı çıkmıştır. Livermore'daki MFTF'nin dev uçaklardan daha büyük olmasına karşın, Alcator, onların makinelerinin her birinden daha küçüktür. Alcator'un deneyicileri, Princeton'daki TFTR'nin başarısının gölgelemesine izin vermeyecek biçimde, amaca gizlice ulaşmışlardır. Ayrıca, kaynaşım girişimcisi Robert Bussard daha iyiyi yapmayı bile umuyor: Şimdi, bir el arabası ile çekilecek kadar küçük bir ticari reaktör yapmayı planlıyor.

Kaynaşım gücü beklentisi, enerji araştırmacılarını 30 yıldan beri düş kırıklığına uğratmıştır. Kaynaşım gücünün iki yakıtı, hidrojenin ağır yerdeşleri (izotopları) olan döteryum

Dev reaktörler büyük umutlar uyandırıyordu; fakat küçücük bir reaktör asıl amaca ulaştı bile. 30 Yıllık çabalamadan sonra, fizik dünyası neyin arandığını ancak bulguya yabildi: Çekirdeklerin kaynaşım enerjisini üretmek üzere, yeterince iyi kapatılmış bir plazma aranıyor. Yeni tasarımlar, kaynaşım reaktörlerinin küçük ve ucuz olabileceklerini ve eskidklerinde çabucak sökülüp ortadan kaldırılacaklarını gösteriyor.

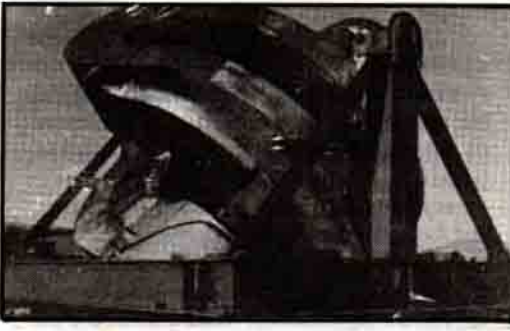
ve trityumdur (döteryum, milyonlarca yıl boyunca yetecek miktarlarda, deniz suyundan üretilebilir). 1970'lerde A.B.D. Temsilciler Meclisi üyesi olan, enerji baş uzmanı Mike McCormach'a göre, "Ateşleme kullanımının denetlenmesi sağlandıktan sonra, kaynaşım gücünün geliştirilmesi, en önemli olay olacaktır."

Bu ateş nasıl yakılabilir? Kaynaşım, çekirdekleri birleştirmek demektir; bir döteryum çekirdeği bir trityum çekirdeği ile birleşirse, çekirdeklerin enerjileri açığa çıkar. Fakat iki çekirdek de elektrik yükü taşımaktadır ve birbirlerini kuvvetlice iterler. Bu itmeyi yenmek için çekirdeklerin önemli miktarlarda enerjileri olmalıdır; başka bir deyimle, çekirdekler çok sıcak olmalıdır (100 milyon derece Celsius)

Kaynaşım, iki bakımdan güçlük getirir: Fizikçiler bu uç sıcaklıkları üretmeli ve ayrıca, plazma denen sıcak ve yaygın gaz bulutlarını, özel bir kab içinde saklamalıdır. Bildiğimiz bir şişe, bu iş için uygun olmayacaktır. Isısını hızla yitireceğinden plazmanın şişe çeperine değmesine izin verilemez. Fakat manyetik alanlar yardımı ile plazma 100 milyon derece sıcaklıkta tutulabilir. Manyetik şişe denen böyle bir manyetik pota kurmak, hiç de kolay bir iş değildir. 30 yıl önce fizikçi Edward teller, bir plazmayı miknatıslar yardımı ile belli bir yerde tutmanın, bir pelte damlasını lastik kuşaklarla sararak tutmak kadar zor olduğunu söylemiştir.

Geçen üç on yıl boyunca fizikçilerin amacı, bir plazmayı Lawson ölçütünü (kriterini) sağlayacak biçimde, belli bir yere yeterince iyi kapatmak oldu. İngiliz fizikçisi John Lawson'un adını taşıyan bu ölçüte göre, plazma belli bir yoğunluğa ulaşmalıdır ve Lawson sayısı denen 6×10^{21} sayısını bulacak biçimde, miknatıslarla yeterince uzun bir süre kapalı tutulmalıdır. Örneğin cm^3 başına 10^{21} parçacıklık bir yoğunluk ve 0,6 saniyelik bir kapatma gereklidir; Lawson sayısı ise, bu iki sayının çarpımıdır.

Böylece, 100 milyon derecedeki bir plazma, kendini ısıtmak için verilen enerji kadar enerjiyi, kaynaşım tepkimeleri ile geri verecektir. Bu, koşul denkleme olarak bilinir. Eğer plazma daha iyi kapatılabilirse, başka bir deyimle, daha yo-



Daha büyük olan mı daha iyidir? Daha küçük olan mı daha yeteneklidir? Kaynaşım reaktörleri için en elverişli büyüklük henüz belirlenmemiştir. Bir sunama reaktörünün 4300 tonluk güçlü yin-yang (dişil-eril) mıknatısları iki katlı yapı yüksekliğindedir. (Üstte). Fakat önerilen Riggatron, bir yemek odası masası üzerine sığacak büyüklüktedir. (Ön kapaktaki resim).

ğün yapılabilir ve mıknatıslarla daha uzun süre kapalı tutulabilirse, daha çok enerji verebilir ve daha az ısıtma gerektirir. Plazma, 3×10^4 'e eşit bir Lawson sayısında tutuşacaktır. O zaman dışardan ısıtma gerekemeyek ve plazma, kendi tepkimeleri ile kendini sıcak tutacaktır.

PLAZMA KAPATIM ÇALIŞMALARI

Bugün, Teller ve başkalarının öngördüklerine göre, plazmaları magnetik alanlardan kurtularak öteye sızdırmaktan alıkoymak çok güçtür. 1968'de Sovyetler Birliği'nin, "toroid(simit) biçimli magnetik oda" teriminin rusça karşılığının baş harflerinden oluşan "tokamak" dedikleri bir kaynaşım aygıtından elde ettikleri sonuçlar, büyük bir ilerleme sağladı. Onların Lawson sayıları, denkleme için gereken sayıdan 100 kat kadar küçüktü ve 5×10^{11} 'e eşitti. Buna karşın, kaynaşım araştırmasına büyük bir itici güç sağlamaya yetiyordu.

1970'ler boyunca, büyük enerji açığı öngörülerini karşısında, Amerikan Enerji Bakanlığı kaynaşım bütçesini 10 katına çıkardı, ve TFTR ve MFTF'nin kuruluşlarını onayladı. TFTR, radyoaktif olan ve işlenişi kolay olan trityumu kullanmak üzere kurulmuştu. MFTF, değişik bir yaklaşım getirdi; plazmayı simit-biçimli bir odaya kapatmak yerine, onu magnetik aynalar denen düzeneklerle denetliyordu. Bu düzenekle, kaçan plazmayı, bir aynadan yansıması gibi, uzun boru biçimli odaya geri gönderiyordu.

Bu kocaman aygıtlardaki mıknatısların düzenlenişleri de değişti. TFTR'nin, magnetik alanlar üretecek olan elektriksel dalgaları taşıyan bakır kangallarla sarımsı geleneksel bir tasarımı vardı. Böyle mıknatısların kuruluşu oldukça ucuzdu; fakat çalışırken çok güç harcayacaklardı. Livermore, sıvı

helyum ile soğutulacak olan ve çok büyük elektrik akımlarını az yitir ya da az direnç ile taşıyacak olan aşırı iletkenleri kullandığı mıknatısları seçti. Fakat az elektrik harcamasına karşın bu mıknatısların kuruluşu çok pahalıya geliyordu. Gerçekten, her yin-yang (dişil-eril) mıknatıs için, yaklaşık 48 km uzunlukta aşırı iletken tel gerekir; bu tellerin metre başına değeri ise, yaklaşık 60 dolardır. Ayrıca, her mıknatısın kaplaması, yaklaşık 13 cm kalınlıkta paslanmaz çelikten yapılır ve her mıknatısın kuruluşu bir buçuk yıl sürer.

Sorunların birçoğu, reaktör donanımlarında karşılaşılan uç koşullardan gelir. Araştırmacılar, plazmayı incelemek için, saniyenin birkaç milyarda birine eşit olan çakma süreleri içinde, tüm New York kentinin bir anlık gücüne eşdeğer bir ışık patlaması yayınlayan çok güçlü laserler kullanırlar. Bu laserler, ışığa astronomi teleskoplarının fotoğraf yapraklarından daha duyarlı olan fotoalgıçlarla (fotodetektörlerle) kaplanmışlardır. Plazmanın 100 milyon derecelik bir sıcaklığı olmasına karşın, bir metre kadar ötede, mutlak sıfırın 4 derece üzerindeki sıvı helyumla soğutulan bir magnetik kangal bulunur.

Öyleyse, çekirdek kaynaşımını araştırmalarının neden yaşıyor olduğuna şaşmamak gerekir. İlk olarak 1978'de, Princeton deneyicileri PLT denen bir tokamak reaktörü kullanarak, 60 milyon dereceye (kaynaşım için uygun bir sıcaklık) ulaşmayı başardıkları zaman, o yılların en önemli kaynaşım başarısını gösterdikleri söylenmişti. Fakat bu deneyde çabucak ısıtılabilen seyreltilmiş bir plazma kullanılıyordu; bu plazmanın düşük yoğunluğu, 3×10^4 'e eşit olan bir Lawson sayısını demektir. 6×10^{11} 'e eşit olan, denkleme Lawson sayısını başarmak çok daha zordur. 1982 gibi geç bir yılda, yönetim politikası bu sayı (yoğunluğu ve kapatılma süresini gösteren) için girişimde bulunmuştu: fakat gereken yüksek sıcaklık çalışmaları, ancak TFTR ile, 1986'da başlayabilecektir.

DAHA BAŞKA ÇALIŞMALAR

MIT'de çalışan, fizikçi Ron Parker'in başka düşünceleri vardı. Alçak gönüllü bir insan olan Ron Parker, küçük ve toplu yapıdaki Alcator C tokamak reaktöründe kurulmuş bulunan bir kaynaşım araştırma programını, hem de az bir parayla yönetiyordu. Onun işyeri ve laboratuvarları ise, eskiden bir fırın ve ambar olarak kullanılan, tuğladan yapılmış sarı renkli yapılar grubundaydı.

1977'de Alcator'un Parker'in kılavuzluğunda gerçekleştirilen bir ilk yapımı, denkleminin yarısına eşit olan 3×10^{11} 'lük bir Lawson sayısına ulaştı. Sonra 1982'de, güçlükleri olabildiğince giderecek olan bir takım düzeltmelerle, reaktör yapımlarını geliştirmeğe hazır duruma gelmişti.

Parker, plazmaya kaynaşım yakıtı katmak için bir teknik geliştirmeyi umuyordu: Tüm kaynaşım reaktörleri, sürekli olarak besleniyorlar ve sürekli olarak sızdırıyorlardı. Gön-

denilen gaz, plazmanın içinde birden alevleniyor ve hemen mıknatıslarla kapatılıyordu; sonra da dışarı sızarak, yerine yeni yakıt gelmesi gerekiyordu. Yakıt katma tekniği yüksek teknoloji gerektiriyordu. Alışılmış yol, döteryum gazını küçük miktarlar olarak üflemektir. Parker bunun yerine, toprak göndericisi denen ve Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı'nda uzay gemisi mühendisi Stanley Milora'nın yönetiminde geliştirilmiş olan bir donanım parçasını kullanmak istiyordu.

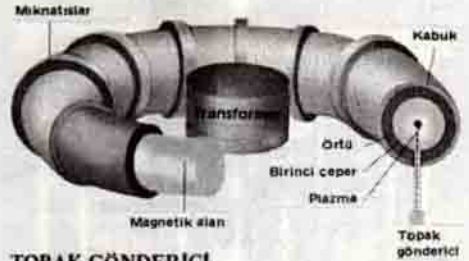
Bu ayakkabı kutusu büyüklüğündeki gönderici, dört namlu Derringen tabancası gibi işlemektedir. Tabanca işleyişi içinde, döteryum mutlak sifıra yakın bir sıcaklığa ulaşınca dek sıvılaştırılır ve bir disk üzerindeki dört delikten süzülerek daha da soğutulur ve dondurulur. Böylece, her biri toplu iğne başı büyüklüğünde olan küçücük dört yakıt topağı oluşur. Sonra disk, bu dört topağı, plazmaya nişan alan dört namlu yardımı ile atacak biçimde döner. Bir tıkacın kaldırılması ile oluşan helyum gazı üflemeleri ile yakıt topakları, plazmanın milyonlarca derece sıcaklıktaki göbeğine atılır. Buradaki yakıt topağı, sıcaktaki kartopuna benzer ve buharlaştığı zaman plazmayı daha yoğun yapar; bu ise, yüksek bir Lawson sayısına ulaşma çabasında önemlidir.

Eylül 1983'de, Parker ve arkadaşları eskiyenlerin yerini yeni kangallar kullanarak, kendi tokamak reaktörlerini yeniden kurdular ve çalıştırmağa hazırladılar. Fakat iki hafta sonra, başka bir sorunla karşılaştılar; Alcator'un içinden yanık kokuları geliyordu: Bütün tokamak reaktörleri, büyük bir elektrik dönüştürücüsünün (Transformatörünün) çevresinde kurulur, ve bu dönüştürücü, plazmanın içinde, plazmayı ısıtan ve onun kapalı kalmasını sağlayan bir indüksiyon akımı doğurur. Dolayısı ile, MIT grubu yeni mıknatıs kangallarını yerleştirirken, yeni bir dönüştürücü (transformatör) çekirdeği de yerleştirmeleri gerekmişti. Fakat bu çekirdek iyi çalışmıyordu ve yalıtım maddelerinden bazıları yanıyor. Neyse ki, eski dönüştürücülerini saklamışlardı ve onun parçalarını yenisini onarmak için kullanabilirlerdi. Amerikan Fizik Derneği'nin Kasım 1983'deki Konferansından beş gün önce, toprak göndericili deneyi için Parker'in reaktörü çalışmağa hazır. Gecenin sekizine dek çalışan deneyiciler ertesi gün yine deneylerinin başında oluyorlardı. Birçok deneyden sonra bir öğleden sonra saat beş dolayında yeni bir sınama en iyi görünen verileri verdi. Parker yine de yetinmedi ve yeni bir sınama daha girişti. Bunun, konferanstan önce izleyecekleri son sınama olduğunu herkes biliyordu. Çünkü plazma fiziği uzmanı olan Steve Wolfe, MIT grubunun Lawson sayısını hesaplamağa koyulmuştu.

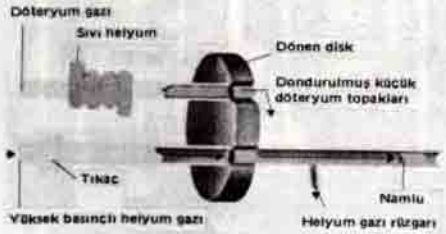
YALNIZCA 18 MİLYON DERECE

Konferanstan üç gün önce, Wolfe şu sonucu elde etti: 3×10^{13} gibi çok çok büyük bir sayı. Bu önemli bir sonuçtu. Parker'in grubu, problemin en güç yanının üstesinden

TOKAMAK



TOPAK GÖNDERİCİ

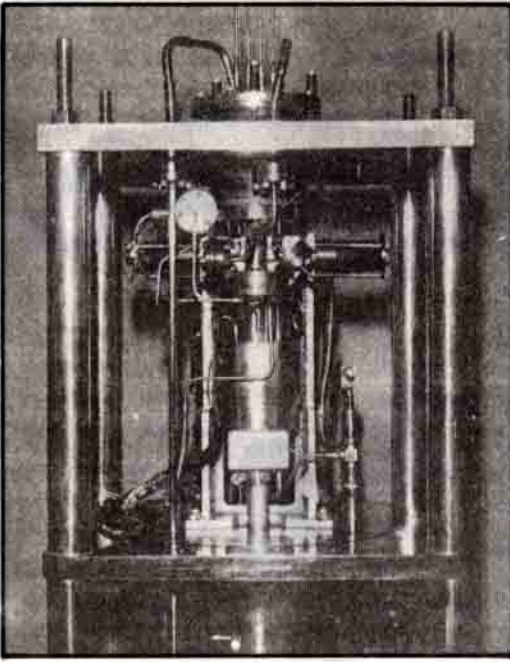


Bir tokamak reaktöründe, bir dönüştürücü (transformatör) ve mıknatıslar, döteryum ve tritium yakıtlarından oluşan bir plazmayı belirli bir yerde tutarak, onu ısıtarak, bu gaz atomlarının çekirdeklerinin kaynaşmalarını ve enerji açığa çıkarmalarını sağlar. Yakıtlar, plazmaya dondurulmuş küçük topraklar halinde atılırlar. Küçük topraklar sıvı helyum ile dondurulurlar, dönen bir disk aracılığı ile bir namluya gönderilirler, sonra da plazmanın göbeğine üflenirler ve orada buharlaşırlar. Bu, plazmanın daha yoğun olmasını sağlar.

gelmışlerdi. 30 yıllık çabadan sonra, şimdi fizik dünyasının neyi araştırdığı görülmüştü: Kaynaşım enerjisi üretmek üzere yeterince iyi kapatılmış bir plazma.

Alcator'un kendi üstünlüğünü sağlamasından birkaç hafta sonra, Princeton'daki TFTR de kendi başarısını kanıtladı. Onun kurucuları, plazmalarını hangi uzunluktaki bir süre boyunca kapatılabileceklerini kuramsal olarak kestirmişlerdi: 0,1 saniyelik bir kapatma bekliyorlardı.

Kaynaşımın başka alanlarından da iyi haberler geliyordu. Ana çaba, başından beri, plazmayı kapatmak için bir magnetik şişe kurulması yolundaydı. Bununla birlikte, çeşitli laboratuvarlardaki araştırmacılar eylemsiz-kapatım kaynaşımı (inertial-confinement fusion ICF) denen değişik bir yaklaşımın de peşinden koştu. Bu yöntem, mıknatıslar kullanarak yayıncı bir gazı kapatmak yerine, donmuş buz halindeki yakıtı kum tanesi büyüklüğünde cam küreler içine kapatma



Topak göndericinin kullanıldığı MIT Alcator reaktörü, gereken yüksek düzeyde plazma kapatılmasını sağlayan ilk reaktör olmuştur.

ya dayanıyordu. Bu kürecikler, bir laser veya benzer bir aygıtın şiddetli bir demet olarak gönderilebileceklerdi. Kürenin dış tabakalarında oluşan bu anlık patlama ile, kürenin iç tabakaları ısınacak ve sıkışacaktı; böylece kürenin merkezi, saniyenin trilyonda birine eşit bir sürede, bir yıldızın merkezindeki koşullara ulaşacaktı. 1984 Mayıs ayı ortalarında, Albuquerque'deki Sandia Ulusal Laboratuvarları bilimcileri, iyon demetlerini öyle keskin odaklamayı başardıklarını bildiriyorlardı ki, bu demetler kaynaşım hedeflerine gönderilebileceklerdi. Ayrıca, MFTF'ye 1 km'den az uzaklıktaki öbür Livermore bilimcileri ise, 1985'in başlarında EKK (eylemsiz-kapatım kaynaşımı) hedeflerine ilk atışın yapmak üzere, dünyanın en güçlü laseri olan NOVA'yı hazırlıyorlardı.

Kaynaşım araştırmaları tam bu başarıları kazandıkları sırada, sanki alaycı bir düşünüşle, söz konusu araştırmaların geleceği en çarpıcı biçimde tartışılmağa başlandı. Parker'in yakın çalışma arkadaşlarından biri olan Lawrence Lidsky, yayınladığı bir yazısında karşıt düşüncelerini ileri sürdü: "Kaynaşım ortaya bir reaktör çıkardıysa bile, kimse bu reaktörü istemeyecektir. Pahalı kaynaşım reaktörü, Zeplin gibi, sesüstü taşıma aracı gibi, bölünüm üretken reaktör gibi, istenmez ve kullanılmaz olacaktır. "biçiminde uyarılarda bulundu. Lidsky'nin görüşüne göre, Princeton ve Livermore'daki TFTR ve MFTF dev reaktörleri gibi tasarımlar ise, ticari

kaynaşım gücü için temel olarak kullanılmak bakımından çok pahalı, karmaşık ve güvenilmez olacaklardı.

Bir görüş de, Nobel ödülü sahibi Hans Bethe'den geldi. Bethe'in, yıldızlardaki çekirdek tepkimeleriyle ilgili 1930'daki çalışması, kaynaşım araştırmalarının başlaması için temel olmuştu. Bethe de, TFTR ve MFTF kaynaşım reaktörlerinin elektrik üreticileri olarak başarılı olamayacaklarına inanıyordu; fakat bu durum Bethe için önemli değildi. O, daha çok, ilk kaynaşım reaktörünün ana görevinin, dünyadaki, kurulmuş bulunan çekirdek reaktörleri için nükleer yakıtlar üretmek olduğunu tartışıyordu.

Başka bir görüş ise, reaktör kullanım sanayisinden geldi. San Francisco'daki Pasifik Gaz ve Elektrik kuruluşunda çalışan Clinton Ashworth, güç üreten ortaklıkların pahalı dev kaynaşım fabrikalarını hemen kurmayıp, küçükten başlamak istediklerini söyledi.

Sanayi kesimi ile ilgili olarak, INESCO kaynaşım firmasının başkanı olan Robert Bussard'ın yaklaşımı, Lidsky'nin düşüncesinin özünü yansıtıyordu. Bussard, MIT'nin Alcator C reaktörünü temel olarak alan ayrıntılı tasarımlar hazırlayarak, kaynaşım reaktörlerinin küçük ve ucuz olabileceklerini ve eskidiklerinde çabucak sökülüp dağıtılabileceklerini göstermek istiyordu. Bu tasarımlara, Riggatron reaktörleri adı verilmiştir; bu ad, bu çalışmalara parasal katkı sağlayan Riggs National Bank of Washington adlı bankanın adından gelir.

Riggatron reaktörünün temelini, son derece toplu yapıdaki nükleer sistemlerin bulucusu olan Bussard'ın bilgileri oluşturur. Böyle aygıtlardaki sorun, ortaya çıkan çok çok büyük ısının nasıl uzaklaştırılacağıdır, bu ise, 1950'ler boyunca Bussard'ın mesleki ürünü kazandığı alandır. Bussard'ın probleme bakış açısındaki bu kayma, onun şaşırtıcı küçüklükte kaynaşım reaktörü tasarımları kurmasını sağlamıştır. Bu reaktörlerin en büyüğü, küçük bir arabadan daha büyük değildi; en küçüğü ise, bir masa büyüklüğündeydi. Gerçekleştirildiklerinde, bunların her biri, birer aylık süreler için 2 milyon kilowattlık sürekli kaynaşım gücü sağlayabileceklerdir. Bu birer ayın sonunda-eskidikleri zaman, yenileri ile değiştirileceklerdir. Oysa 1986'da TFTR ile, yüksek sıcaklık çalışmalarına geçilebilirse, bu reaktördeki iki - saniyelik patlamaların her birinde 30.000 kilowattlık güç üretilecektir.

1984'ün ortalarında, bu yaklaşımlardan hangisinin kaynaşım reaktörlerinin geleceğini çizeceği daha belli olmamıştı. Haziran 1984'de, kaynaşım enerjisininin 40-50 yıldan önce ticari amaçla kullanıma olanağı olmadığı anlaşıldığından, bu reaktörlere ayrılan ödeneklerde ek kısıntılar yapıldı.

Bugün, çekirdek kaynaşımı alanında çalışan topluluk, bu zor kazanılmış başarılarından kıvanç duyuyor. Oysa, bu başarılar, deniz suyunu yakıt olarak kullanabilecek ticari amaçlı güç fabrikalarının kapısını açmıyor; bunun yerine, bilimsellikten uzaklaşan yeni tartışmaların çıkmasına neden oluyor.

Science Digest'den çev: Dr. Hanaslı GÜR