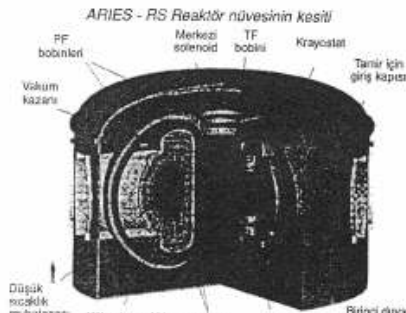


DÜNYA' NIN ENERJİ TALEBİ NASIL KARŞILANABİLİR? - II

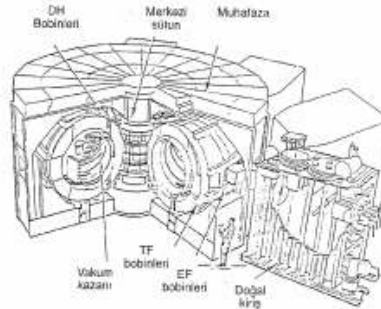


Şekil: 2 - ARIES - RS Füzyon enerjisi nüve ünitesinin şematik görünüşü (1997)

TABLO: 1 ARIES-RS Tokamak füzyon enerji tesisinin çalışma parametreleri:	
Yüzey oranı	4.00
Büyük çap (m)	5.52
Küçük plazma çapı (m)	1.38
Plazmanın dikey boyu (m)	1.70
Plazma akımı (MA)	11.31
Çizme kutak akım kesiti	0.88
Akımı sağlayan güç (MW)	81
Eksen üzerindeki toroidal alan (Tesla)	7.90
TF bobinlerindeki pik alan (Tesla)	16
Toroidal β	0.05
Ortalama nötron duvar yükü (MW / m ²)	3.96
Primer soğutucu ve üretilen	Doğal litium
Ara yapı malzemesi	Vanadyum ve çelik
Soğutucu giriş sıcaklığı (°C)	330
Soğutucu çıkış sıcaklığı (°C)	610
Füzyon gücü (MW)	2170
Toplam termik güç (MW)	2620
Net elektrik gücü (MW)	1000
Üst termik çevrim verimi	0.46
Net tesis verimi	0.38
Tekrar sirkülasyon kesiri	0.17
Kütle enerjisi yoğunluğu (KWR / Ton)	66.70
Elektrik maliyeti (mil/kwh)	75.79

Yanma çevrimi içinde çalışmaya başlandığı zaman, plazmanın kinetik sıcaklığı, 10 keV'tan 30 keV'a kadar değerlerde beklenebilir. 30 keV değerinin karşılığı, 300 milyon Kelvin derecenin üzerindedir.

Çeşitli büyük deneysel cihazlar (yani İngiltere'deki JET Tokamak ve Princeton Üniversitesi'ndeki TFTR Tokamak), yeterli sıcaklıklar, 10 keV değeri içerisinde başarı ile elde ettiler. Fakat onların enerjileri kesilse bile, plazma arkasında yavaşça çöken yüksek enerjili iyonların enjeksiyonu şeklinde oluşan "huzme hedef" reaksiyonları



Şekil: 3 - TFTR'nin şematik görünüşü.

vasıtasıyla olayın devamı bir süre beklenebilir. Tokamak'ın kesikli çalışmasında plazma çevrelemesinin başarılı periyotları, son birkaç saniye veya onlarca saniye içerisinde olabilmektedir. Toplam yanma zamanı, ilk pörç (süpürme) ve reaktörün yeniden yüklenmesi, birkaç yüz saniye veya binlerce saniye olabilmektedir.

1 ile 5 GW, füzyon çıkış gücü üretmek için 10 ile 100 MW'lık yardımcı bir ısıtmaya ihtiyaç vardır. Son çalışmalar, kesikli çalışmadan daha çok, son olarak sabit çalışmaya izin veren bir akım kaynağı sağlamak için radyo-frekanslı ısıtmanın veya başka tekniklerin imkanı üzerinde yoğunlaşmıştır. Düşük "B" lı (%3'ten % 10'a) Tokamak cihazında yaklaşık 10 üzeri 14 iyon/cm³lük bir yoğunluk sağlamak için saniyede yaklaşık (2 ile 4) 10²² Döteryum-Trityum atomu enjekte edilecektir.

Tokamak reaktörlerinin, araştırma çalışması karakteristiklerinin bir seri kavramsal çalışmaları yapılmıştır. Şekil 2 ve Tablo 1, California Üniversitesinde (San Diego), ARIES ekibi tarafından gerçekleştirilen bir çalışmanın sonuçlarını göstermektedir.

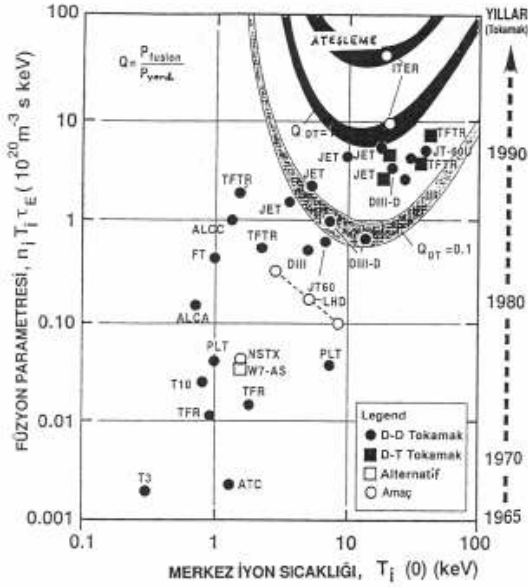
Şekil 3, D-T (Döteryum-Trityum) plazmalarını yakan çalışmalar için dizayn edilen TFTR cihazının şematik bir çizimini göstermektedir.

Bu cihaz, Princeton Plazma Fiziği Laboratuvarında (PPPL), 500 milyon doları üzerinde bir maliyete inşa edilmiş, Aralık 1982'de ilk çalışmaya başlamıştır. O tarihten beri TFTR birçok etkili deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deneylerin amaçları, plazma için gelişmiş bir çevreleme, stabil olmayan hususların temelini anlaşılması ve kontrol edilmesi, ısıtma ve akım beslemesinin geliştirilmesi, plazma duvarındaki iç etkileşimlerinin anlaşılmasını sağlamak şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Bu sonuçlar, dünya çapındaki diğer büyük Tokamak deneylerinin bir seri çalışmalarıyla da ortaya konmuştur. Bu reaktörler, D-III (San Diego, USA), JET (Culham, İngiltere) JT-60 (Japonya) ve T-12 (Rusya)'dır. Bu çalışmalarda en büyük adım, hem TFTR hemde JET'deki D-T plazmalarının yakılmasını içermektedir. Bu çalışma, füzyon ürünleri ile ilgili enerji bilgisinden (D-T füzyonu halinde, 3,5 MeV alfa partikülü elde edilmesinden) elde edilen ısıнын büyük kısmının füzyon plazmasında bulunduğunu ortaya koyan değerli bir çalışma sağlanmıştır. Daha sonra çeşitli başarılı D-T yakma safhalarında, Amerikan Kongresi, TFTR için tahsisatı kesti ve proje dizayn safhasında kaldı. Daha sonra deneyler 1997'de durduruldu.

TFTR çalışması, 12,5 m büyük çaplı (R) ve 0,85 m küçük çaplı (a) ve ekseninde, 5,2 Tesla toroidal alan sağlayan bir reaktörde, yaklaşık 30 MW'lık doğal bir huzme ısı elde edilmesini sağladı. Bu cihaz 10¹³ partikül/cm³ yoğunluklu plazmalar meydana getirdi.

Plazma sıcaklıkları, 10 keV seviyesine ve füzyon enerji yoğunluğu 1 MW/cm³ seviyesine çıktı. İngiltere'deki JET ekibi, 1998'de, kademelil bir saptırıcı ile hızlandırılan D-T lerin ilave bir seri çalışmasını planladı. Daha sonra "Güneş batışı" adlı anlaşmaya göre, JET'e ait orijinal tahsisat teklifi içinde kalacak şekilde, Avrupa Birliği işi yüklenerek bir ortaklık kuruldu.



Şekil: 4 - Magnetik füzyondaki gelişme.

Bununla beraber birçok Avrupa ülkesi, müşterek denemeler için sürekli olarak destek sağlamayı göz önüne almıştır.

Füzyon araştırmaları için dünya çapındaki tesisler çok sayıda magnetik ve ataletli füzyon araştırma tesisi, dünya çapında çalışmaktadır. (Bu bilgiler, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'ndan-Viyana-sağlanabilir.)

İşletme değerleri gereksinimleri:

Füzyon üreticileri, çok düşük füzyon performansı ve füzyon elektrik santrallerinden çok yüksek maliyetli olarak ekonomik şekilde çalışabilirler. Magnetik füzyon cihazları için iki performans göstergesini göz önüne almak gerekir. Bunlar: 1) Plazma enerji kazancı, Q., 2) Birinci duvar füzyon nötronu duvar yükü, *3f'dür. Q, üreyen füzyon enerjisinin, ısının ve plazmanın (enerji yüklü doğal atomların izafı olarak pahalı

duyarlar. Hızlı füzyon perdeli füzyon üreticileri, düşük Q rejiminde çalışabilirler (Q=2-4); bastırılmış füzyon perdeli füzyon üreticileri içinse Q>6 değerlerine ihtiyaç vardır.

Bu performans (işletme) değerleri keza ataletli çevrel füzyon (ICF) sistemlerine uygulanır. Örneğin, ICF hibrid (karışık) çalışmaları gösterdi ki, güdülen bir verim hedefi için (füzyon elektrik üretimine ait gerekli % G değeri, 20'den büyük bir kazanç toplamına gerek duyarken) % G kazanç toplamı, yaklaşık 6 kabul edilebilir. Bu düşük performans ihtiyaçları, teknolojinin ihtiyaçlarının hafiflemesine izin vermektedir.

Kontrollü füzyonun araştırma hedefine doğru gelinecek nokta

Şekil 4, bugüne kadar kontrollü nükleer füzyonun amacına doğru elde edilen gelişmeleri

olmasından dolayı beslenen) devamını desteklemek için gerekli giriş enerjisine oranı olarak tarif edilir. m² başına MW olarak yüklenen füzyon nötronunun ilk duvar yükü, perdeleme güç yoğunluğunun bir göstergesidir.

Çeşitli füzyon reaktörlerinin kavramsal proje çalışmaları göstermiştir ki, tercih edilen saf füzyon enerji tesislerinin, rekabet edebilir elektrik enerjisi üretebilmesi için Q>20 ve *3f > 3 MW / m² olması gerekmektedir. Her ne kadar yüksek değeri Q tercih edilse de füzyon üreticileri yalnız LWR reaktörlerine ekonomik yakıt üretmek için Q=2'den 6'ya kadar olan değerlere ihtiyaç

göstermektedir. Bu şekilde, saf döteryum-trityum plazmasının (iyonlar ve elektronlar aynı sıcaklıkta alınmaktadır) yoğunluk-çevreleme zaman toplamı, nT'ye karşı noktalanmıştır. Bu koordinatlarda, termonükleer enerji kazancı, 30'u aşan noktaların üzerinde veya daha üstünde herhangi bir noktada ateşleme meydana gelir.

Sabit kazancın bulunduğu yer (füzyon başına 17,6 MV noktasında, füzyon güç yoğunluğu, kayıplara karşılık, plazma sıcaklığını idame ettirmek için gerekli harici güç yoğunluğu tarafından bölünür), füzyon çevreleme deneylerinin çalıştığı yerin üzerinde geniş bir yer (10 üzeri -8 den 10'a kadar) üstünde noktalanmıştır veya çalışmak için tasarlanmıştır.

Özel deneylerin çalışma alanlarının değerleri, çeşitli çevreleme cihazları için kısaltılmış semboller vasıtasıyla tanımlanmıştır. Erişilen en yüksek kinetik sıcaklık, ayna içerisinde ve yaklaşık 30 keV olan yerde (300 milyon mutlak Kelvin derecesine eşdeğer) bazı zor deneyler gerçekleştirilmiştir.

Nadir malzemelerin gereksinimleri:

Tablo II, Nükleer füzyon enerji ekonomisi imkanı ile toplam bir milyon megawattlık bir güç sağlayabilmek için gerekli nadir malzemelerin, USA'da yapılan çalışmalarla mukayese edilerek USA için 2000 yılı talebi ve bu malzemelerin dünya rezervlerinin listesini vermektedir. Bu tabloya göre, füzyon enerjisinin gelişip genişlemesine karşın, bir malzeme kaynağı sınırlamasının olmadığı görülmektedir. Bununla beraber, bazı malzemelerin talebi (berilyum, bakır, helyum, lityum, vanadyum, nobiyum ve molibden-wolfram), mevcut üretimlere ek üretim kapasite artırma zorunluluğu getirecek ve berilyum, lityum, vanadyum, nobiyum ve molibden için yeni kaynakların araştırılması ihtiyaç olacaktır.

Malzeme	Uygulama Yeri	10 ⁶ MW güç için ihtiyaç (megaton)	2000 yılı için USA ihtiyaç talebi (megaton)	Dünya rezervleri (megaton)	Yer kabuğunun 10 m. üstünde mevcut olan değerler	Yer kabuğu değerlerinin dünya rezervlerine oranı
Berilyum	Nötron katları ve plazma yüzeyi bileşenleri	0,046	0,002	0,09	1,5 x 10 ⁴	1,6 x 10 ⁵
Alüminyum	Bobin iletkeni	1 - 2,6	33	1000	5,1 x 10 ⁸	5 x 10 ⁵
Bakır	Bobin ve ateş duvarı iletkeni	3,2 - 8,6	7	300	2,3 x 10 ⁵	7,6 x 10 ²
Helyum	Soğutucu madde	0,04 - 1,1	0,02	1	4 x 10 ³ +	4 x 10 ³
Lityum	Yakıt, soğutucu madde *	0,95 - 1,5	0,014	0,8	2 x 10 ⁵ #	2,5 x 10 ⁵
Titanyum	İç yapı, süper iletken malz.	0,5	2	150	2,8 x 10 ⁷	1,9 x 10 ⁵
Vanadyum	İç yapı, süper iletken malz.	2,4	0,03	10	6,6 x 10 ⁵	6,6 x 10 ⁴
Niobiyum	İç yapı, süper iletken malz.	3,3	0,01	10	9,4 x 10 ⁴	9,4 x 10 ³
Molibden	İç yapı	2,8	0,09	5,4	6,2 x 10 ³	1,1 x 10 ³
Kalay	Süper iletken malzemesi	0,3	0,1	7,2	1,4 x 10 ⁴	2 x 10 ⁴
Kurşun	Muhafaza	11	2,5	95	9,4 x 10 ⁴	10 ³

+ Atmosferde mevcut*

Deniz suyunda da yaklaşık aynı oranda mevcut

* Süper iletken malzemesi için

Yararlanılan Kaynak : Standart Handbook for Electrical Engineers