



Fisyon

Nükleer enerji denince akla ilk gelen, ağır atom çekirdeklerinin parçalanmasıyla açığa çıkan çok güçlü enerjiler. Bunları günlük yaşamımızda kullandığımız elektrik enerjisine çevirmenin aracıysa nükleer enerji santralleri. Günümüzde Dünya üzerinde 400'ün üzerinde nükleer santral, hidroelektrik ve termik santrallerle birlikte insanlığın artan enerji gereksinmelerini karşılamaya çalışıyor. Ancak insanlık nükleer enerjiyi ilk kez yakıp, yıkan biçimiyle, Hiroşima ve Nagasaki'ye atılan atom bombalarıyla tanıdı. Bu kötü sicil, nükleer santraller konusunda giderilmesi kolay olmayan kuşuklar yaratıyor. 1986'da Ukrayna'daki Çernobil nükleer santralında meydana gelen kaza da endişeleri körüklüyor. Santral ürünü radyoaktif atıkların depolanmasıyla ilgili sorunlar da tümüyle çözülebilmemiş değil. Bütün bunlara karşın uzmanlar, doğru tasarım ve kullanımla nükleer santrallerin, enerji darboğazının aşılmasında yadsınamayacak önemdeki rollerini sürdüreceklerini söylüyorlar.

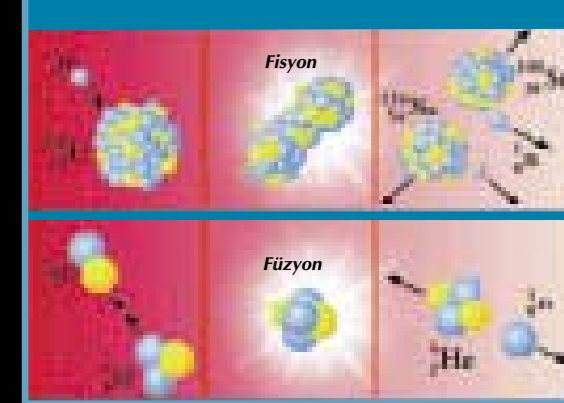


Büyük Patlama'nın ardından evren soğuyup genişlemeye başladı. Patlamadan 10⁻⁴ sn sonra evren, kuark, gluon, elektron ve nötrinoların oluşan bir çorba durumundaydı. Sıcaklık 1 trilyon dereceye indiğinde bu karışım proton, nötron ve elektronlara ayrıştı. Genişleme ve soğuma sürdükçe bazı proton ve nötronlar, döteryum, helyum ve lityum çekirdekleri oluşturdular. Daha sonra elektronlar, protonlarla ve küçük kütleli çekirdeklerle birleşerek yüksüz atomları oluşturdular. Kütleçekim nedeniyle atomlardan oluşan bulutlar çökerek yıldızları meydana getirdiler. Yıldızlarda önce hidrojen, sonra da helyum atomları birleşip, daha ağır kimyasal elementler oluşturdular. Patlayan yıldızlar ağır elementleri uzaya saçtılar. Dünyamız, bu süpernova patlamalarının artıklarından oluştu.



Bir atomun merkezinde proton ve nötron gibi nükleonlardan oluşan bir çekirdek yer alır. Her nükleon aralarındaki "siddetli" etkileşimin bir arada tuttuğu üç kuarktan oluşur. Siddetli etkileşimin aracı gluon denen kuvvet taşıyıcı parçacıklardır. Bir atom çekirdeğini bir arada tutansa, komşu nükleonlar içindeki kuark ve gluonların siddetli etkileşimi. Bir atomda elektronlar, çekirdek yarıçapının on bin katı uzaklıkta dönen bir bulut oluştururlar. Atom çekirdeğiyle elektronları atom yapısı içinde bir arada tutan kuvvet elektromanyetik etkileşimdir. Gerçek ölçeğinde vurulacak olsaydı, üstteki çekirdeğin çevresinde dönen elektron bulutunun çapı küçük bir kenti kaplardı.

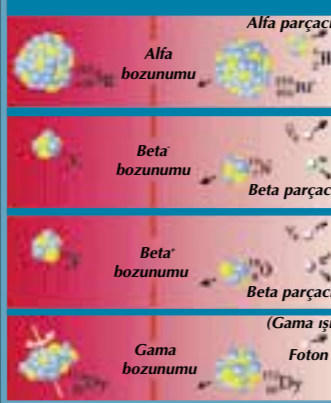
Nükleer Enerji



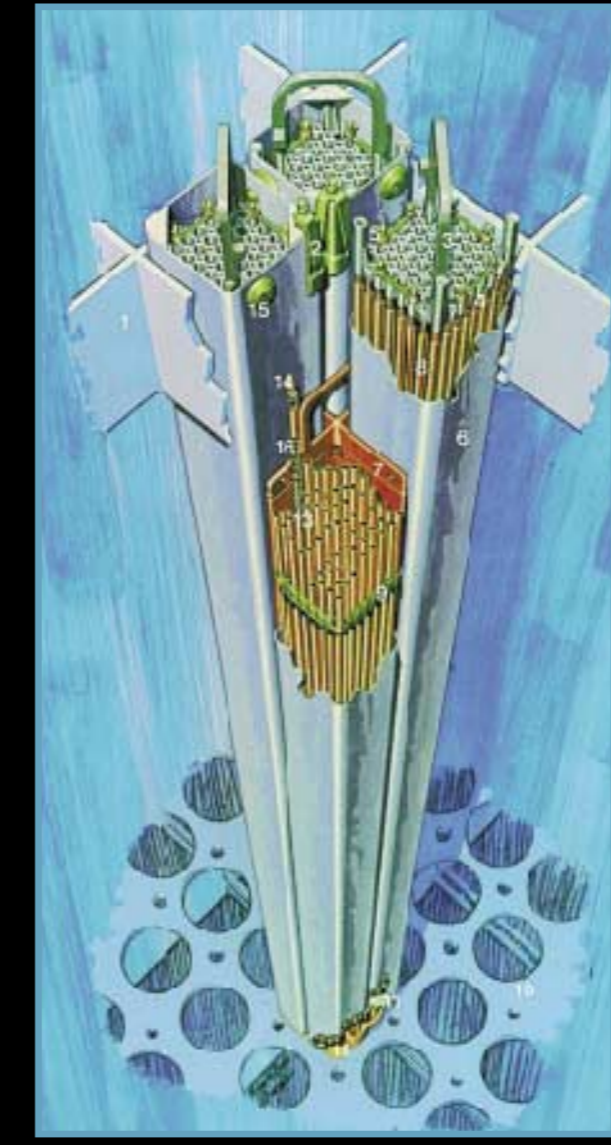
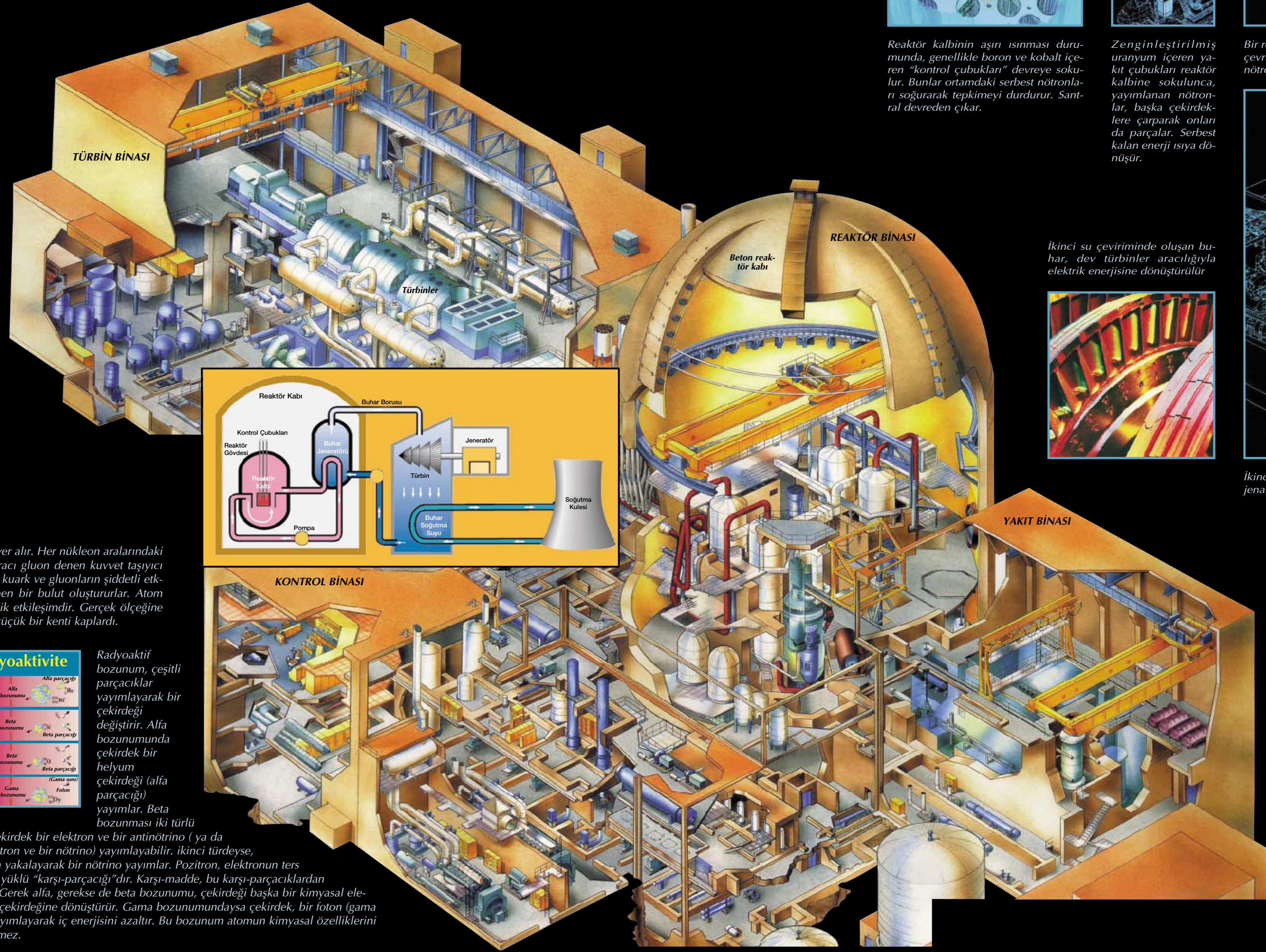
nötron yayımlarlar. Füzyondaysa, küçük kütleli çekirdekler birleşip büyük bir çekirdek oluştururlar. Süreçte ayrıca bir ya da daha çok parçacık çekirdek dışına atılır. Bunlar nötron, proton, foton ya da alfa parçacığı (helyum çekirdeği) olabilir.

Güneş ve öteki yıldızların yaşamlarının ilk evrelerinde, hidrojen atomları birleşerek helyum oluşturdular. Süreçte foton (ışık) ve nötrino biçiminde enerji açığa çıkar. Daha geç evrelerdeyse, füzyon yoluyla uranyum ve daha ağır elementlere kadar uzanan çekirdekler sentezlenir

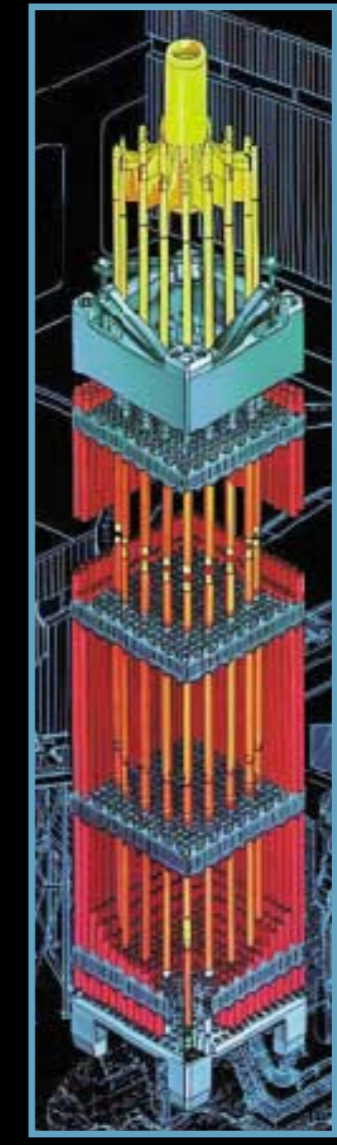
Radyoaktivite



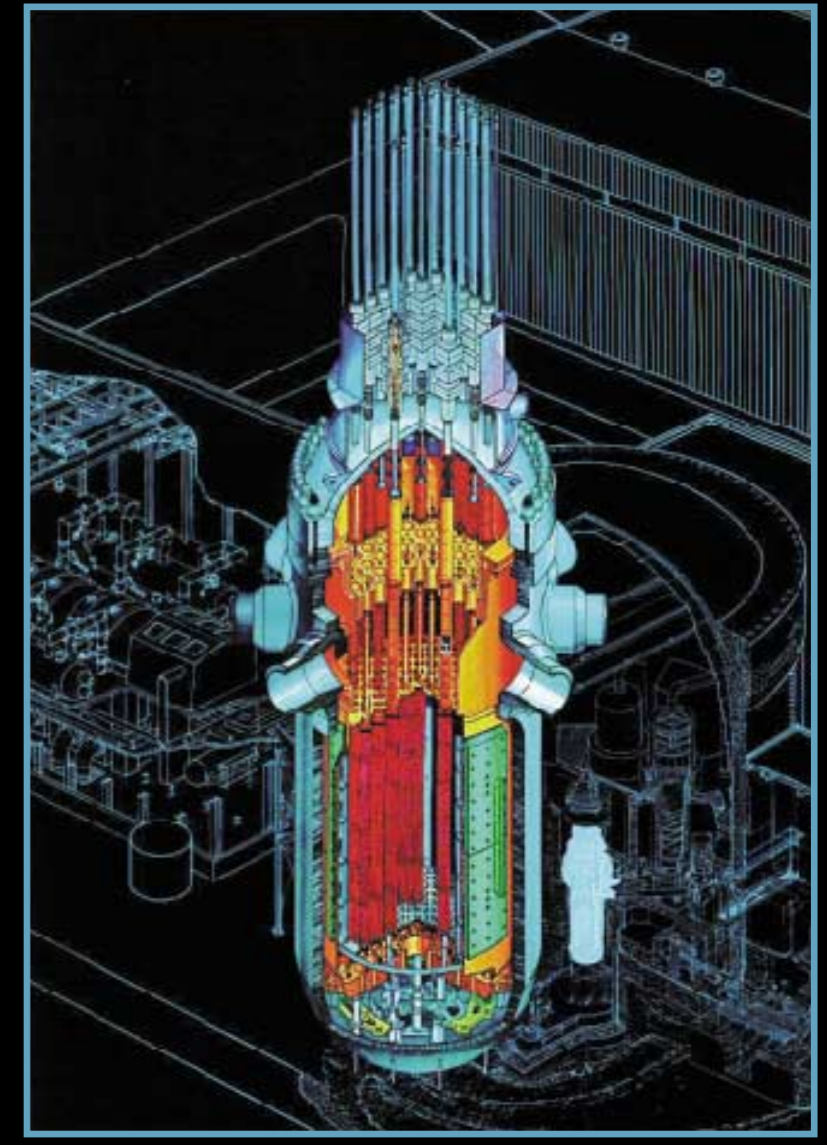
Radyoaktif bozunum, çeşitli parçacıklar yayımlayarak bir çekirdeği değiştirir. Alfa bozunumunda çekirdek bir helyum çekirdeği (alfa parçacığı) yayımlar. Beta bozunması iki türlü olur: Çekirdek bir elektron ve bir antinötrino (ya da bir pozitron ve bir nötrino) yayımlayabilir. İkinci türdeyse, elektron yakalayıp bir nötrino yayımlar. Pozitron, elektronun ters elektrik yüklü "karşı-parçacığı"dır. Karşı-madde, bu karşı-parçacıklardan oluşur. Gerek alfa, gerekse de beta bozunumu, çekirdeği başka bir kimyasal elementin çekirdeğine dönüştürür. Gama bozunumundaysa çekirdek, bir foton (gama ışını) yayımlayarak iç enerjisini azaltır. Bu bozunum atomun kimyasal özelliklerini değiştirmez.



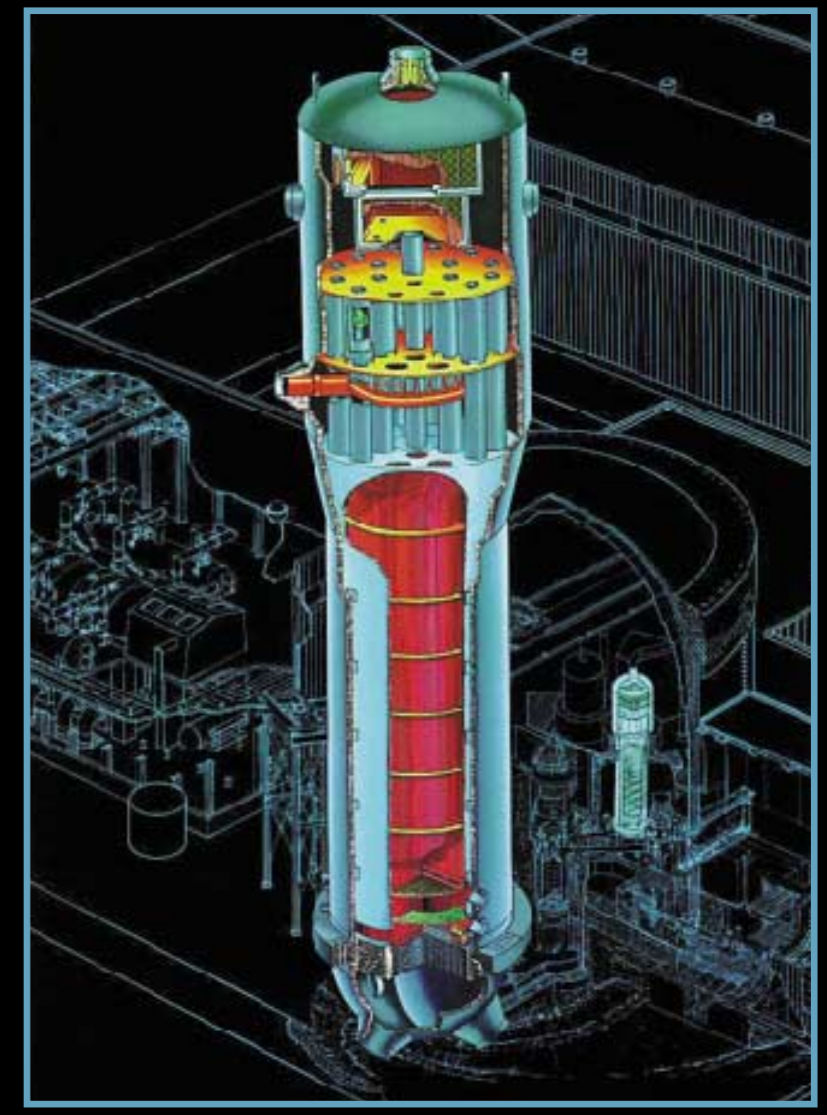
Reaktör kalbinin aşırı ısınması durumunda, genellikle boron ve kobalt içeren "kontrol çubukları" devreye sokulur. Bunlar ortamdaki serbest nötronları soğurarak tepkimeyi durdurur. Santral devreden çıkar.



Zenginleştirilmiş uranyum içeren yakıt çubukları reaktör kalbine sokulunca, yayımlanan nötronlar, başka çekirdeklerle çarpışarak onları da parçalar. Serbest kalan enerji ısıya dönüşür.



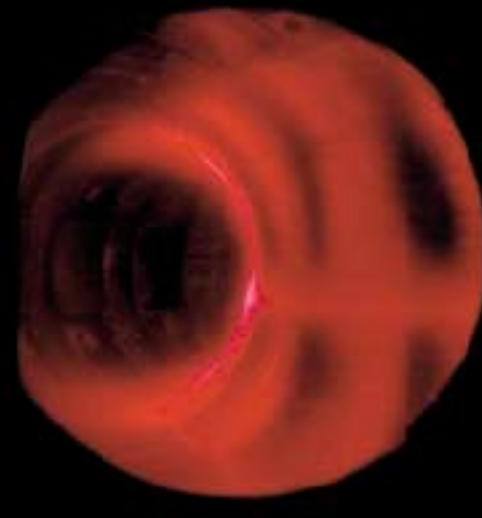
Bir reaktör kalbinde yakıt çubukları, ilk soğutma suyu çevrimine sokularak aşırı ısınma önlenir. Su ayrıca nötronları yavaşlatarak tepkime verimini yükseltir.



İkinci su çevrimi, ilk çevrimden aldığı ısıyı buhar jeneratörüne iletir



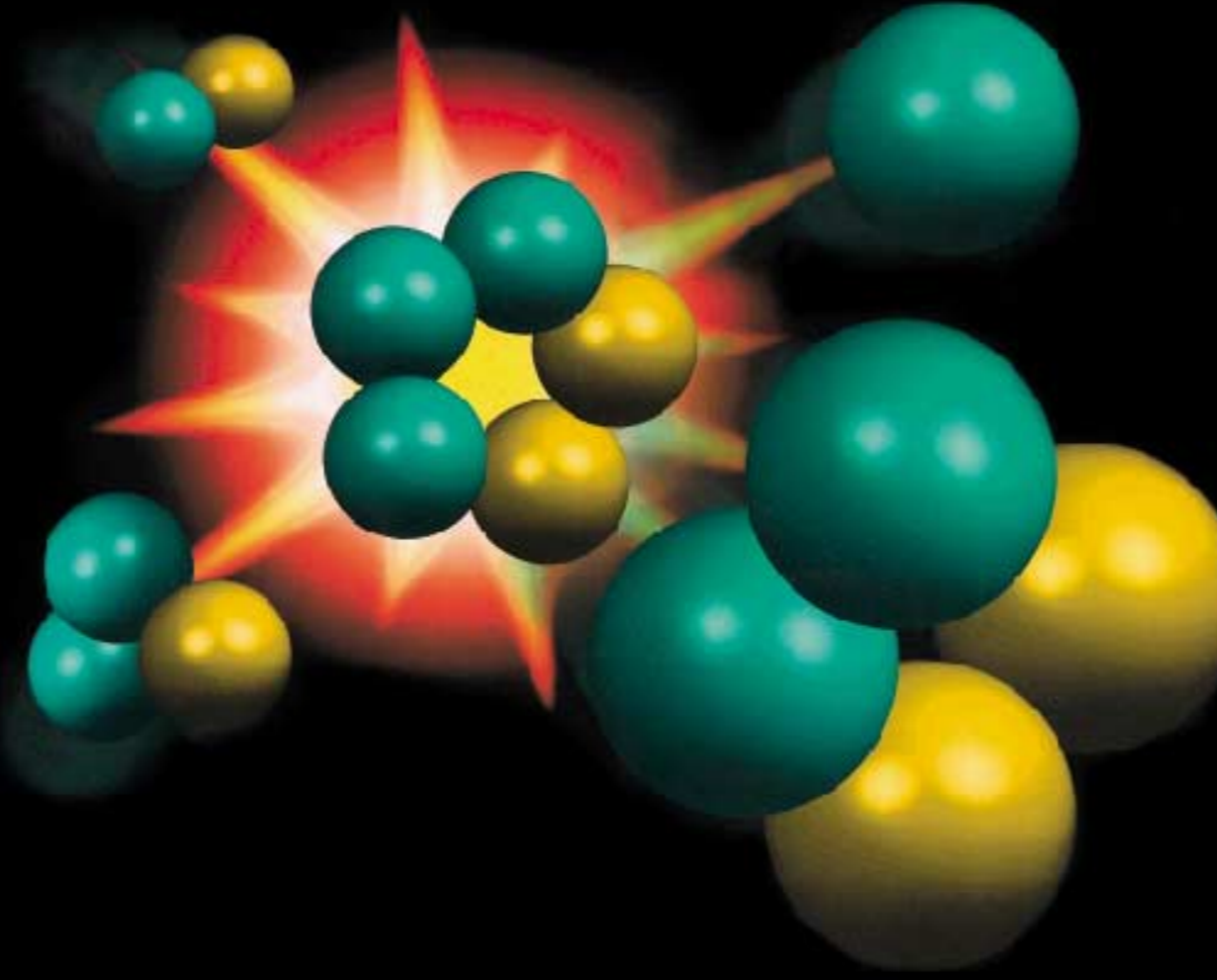
Bir kaynar su reaktörü. Bu tür reaktörlerde soğutma suyu doğrudan buhar jeneratörünü çalıştırıyor.



Füzyon

Milyonlarca yıllık evrimin sonunda bugün Dünya'daki insanların sayısı 6 milyara ulaştı. Önümüzdeki 50 yıl içinde bu sayı % 50 artarak 9 milyarı aşacak. Bu, ısıtılacak ve aydınlatılacak daha çok ev, gıda ve öteki temel gereksinimleri üretecek daha çok fabrika, bu insanları taşıyacak daha çok otomobil, gemi, uçak, kısacası daha çok enerji demek. Ancak nüfus arttıkça, varolan enerji kaynaklarımız da ya tükeniyor, ya da aşırı kullanım yüzünden yeryüzünü ve atmosferi kirletiyor, doğayı yaşanmaz hale getiriyor. Bu nedenle araştırmacılar temiz ve neredeyse tükenmez bir enerji kaynağı elde etmeye çalışıyorlar. Bunun yolu, yıldızların merkezlerinde gerçekleşen bir süreci yeryüzüne indirmek ve evrendeki en hafif ve en bol bulunan hidrojen atomlarını birleştirmek. Ancak bunun için yıldız içlerinde olduğundan çok daha yüksek sıcaklıklar gerekiyor. Bilim adamları, yaratıcı yöntemler kullanarak bu hedefe doğru hayli yol almış bulunuyorlar.

DOĞAL FÜZYON, Güneş'e ve öteki yıldızlara güç veren enerjinin adı. Füzyon tepkimelerinde küçük kütleli çekirdekler birleşerek daha büyük çekirdekler oluşturuyorlar. Bu süreçte, Einstein'ın $E=mc^2$ formülü uyarınca kütle (m), enerjiye (E) dönüşüyor. Güneş'in merkezinde p-p zinciri denen ve hidrojen çekirdeği olan tek protonlarla başlayan bir dizi füzyon tepkimesi, helyum atomlarının çekirdekleri olan alfa parçacıklarının oluşumuyla sonuçlanıyor. Güneş'e enerjisinin çok büyük bir bölümünü sağlayan p-p zinciri, bu işlevini daha milyarlarca yıl sürdürecektir.



ENERJİ KAYNAK VE DÖNÜŞÜMLERİ

ENERJİ DÖNÜŞÜM SÜRECİNE KISA BİR BAKIŞ

Enerji, pek çok biçim alabilir ve çeşitli süreçler bir enerji türünün bir başkasına dönüşmesine yol açar. Toplam enerjinin daima sabit kalmasına karşın dönüşüm süreçlerinin çoğu, yararlanılabilecek enerji miktarını azaltır.

Enerji kaynakları	Dönüşüm	Yararlı Enerji
Kimyasal	Yararlı $E_{dış} = \eta E_{iç}$ $\eta =$ Termodinamik verim;	Mekanik
Kütleçekimsel	tipik ölçek %10-40	Elektrik
Nükleer		Termal
Güneş vb.		

Açığa enerji çıkaran tepkimelerin fiziksel parametreleri

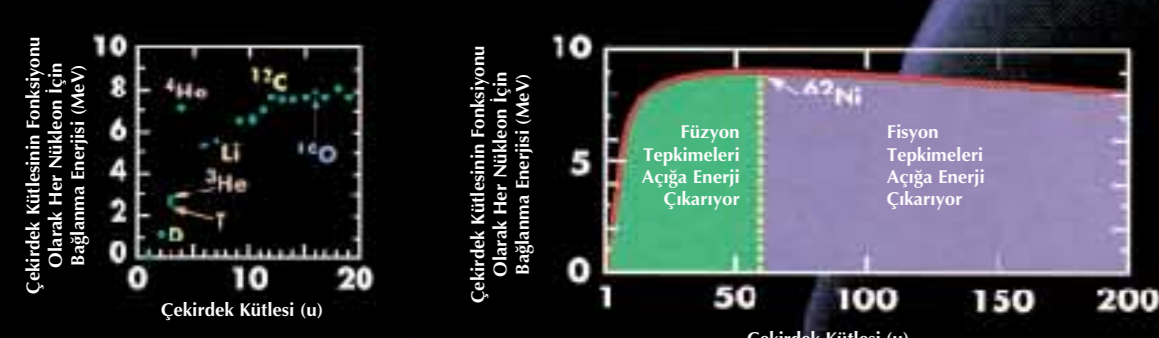
Tepkime Türü	Kimyasal	Fisyon (Parçalanma)	Füzyon (Birleşme)
Örnek Tepkime	$C + O_2 \Rightarrow CO_2$	${}^1_0n + {}^{235}_{92}U \Rightarrow {}^{143}_{54}Ba + {}^{91}_{38}Kr + 2{}^1_0n$	$D ({}^2_1H) + T ({}^3_1H) \Rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$
Tipik Girdiler (Enerji Santralına)	Kömür ve Hava	UO_2 (3% ${}^{235}U$ + 97% ${}^{238}U$)	Döteryum ve Lityum
Tipik Sıcaklık (K)	1000	1000	100,000,000
Her kg İçin Açığa Çıkan Enerji (J/kg)	3.3×10^7	2.1×10^{12}	3.4×10^{14}

FÜZYON TEPKİMELERİ NASIL İŞLİYOR

FÜZYONUN NÜKLEER FİZİĞİ

Küçük kütleli elementlerin füzyonu, tıpkı ağır kütleli elementlerin fisyonunda olduğu gibi açığa enerji çıkarır.

ÇEKİRDEK KÜTLESİNİN FONKSİYONU OLARAK HER NÜKLEON İÇİN BAĞLANMA ENERJİSİ



Yalnızca Küçük Kütleli Elementler İçin

* Nükleon = atom çekirdeğini oluşturan proton ve nötronlar

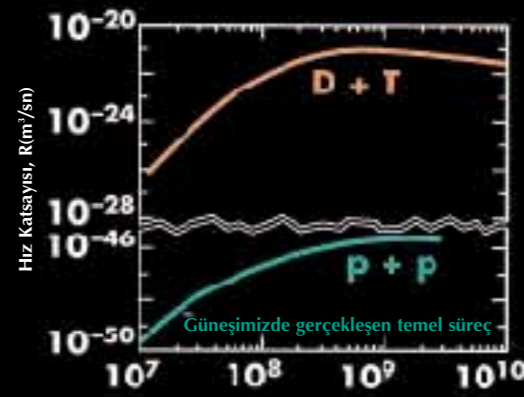
Çekirdek Tepkimesi Enerjisi: $\Delta E = k (m_1 - m_2) c^2$ Çekirdek Tepkimesi Enerjisi: $\Delta E = k (m_1 - m_2) c^2$

Einstein'ın $E = mc^2$ formülü. $\Delta E =$ her tepkime için değişen enerji; $m_1 =$ toplam ilk (tepkime yapan) kütle; $m_2 =$ toplam son (ürün) kütle. E megaelektronvolt (MeV) cinsinden ve m atomik kütle birimi (u) olarak alındığında dönüşüm faktörü k, SI birimlerinde 1, ya da (931,466 MeV/uc²) olur.

Yararlı Çekirdek Kütleleri

Sembol	Tür	Kütle (u*)
1_0n	nötron	1.008665
1_1H	proton	1.007276
2_1H	döteryon	2.013553
3_1H	tritron	3.015500
3_2He	helyum-3	3.014932
4_2He	helyum-4	4.001505

Füzyon Hız Katsayıları

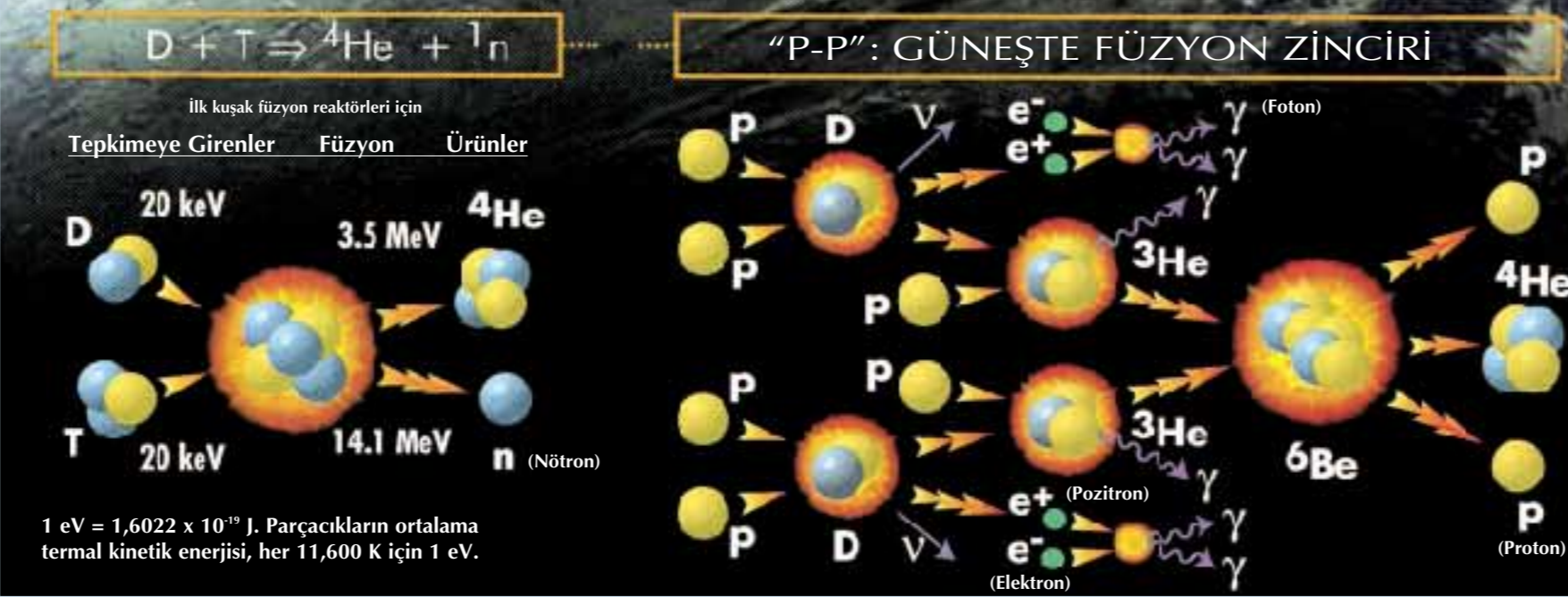


* $1u = 1.66054 \times 10^{-27}$ kg = 931,466 MeV/c²

Tepkime Hızı Yoğunluğu = $R n_1 n_2$

$n_1 n_2 =$ tepkimeye giren türlerin yoğunluğu (iyon/m³); R = Hız Katsayısı (m³/sn). Füzyon enerji yoğunluğunu elde etmek için ΔE ile çarpınız.

İKİ ÖNEMLİ FÜZYON SÜRECİ



FÜZYON KOŞULLARINI OLUŞTURMAK

PLAZMA TUTULUMU VE ISITILMASI

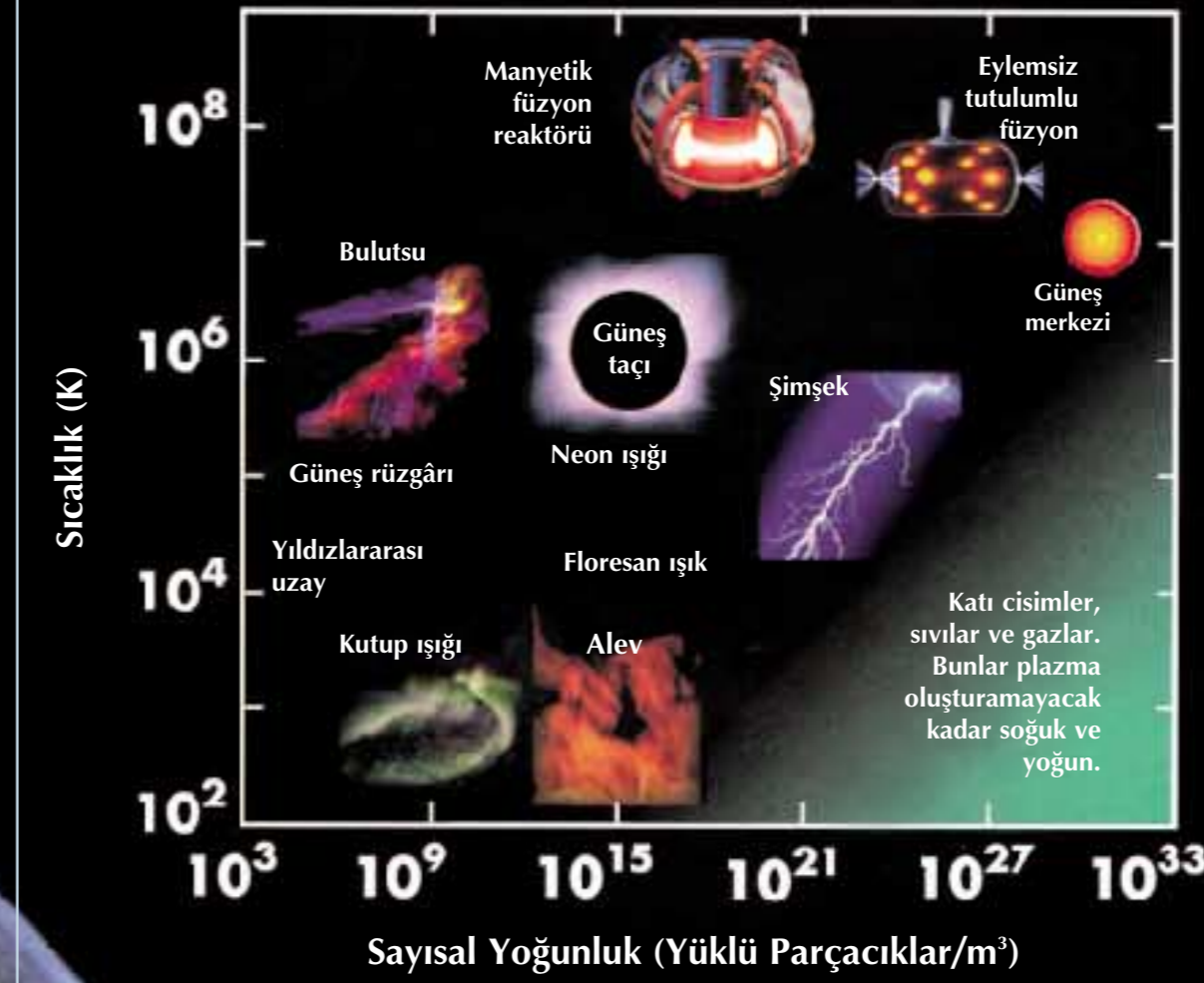
Tutulum	Kütleçekim	Manyetik Alanlar	Eylemsizlik
Füzyon sürecinin, kayda değer bir enerjiyi açığa çıkarabilmesi için yüksek sıcaklıktaki plazmanın (elektronları kopmuş atom çekirdekleri), büyük yoğunluklarda ve yeterli sürede birarada tutulması gerekir.	Yıldız Oluşumunda Ortaya Çıkan Plazma	Tokamak	Lazer Demetiyle Gerçekleştirilen Füzyon
Tipik Ölçekler	Ölçek: 10 ¹⁰ m Plazma Süresi: 10 ¹⁰ - 10 ¹⁰ sn	Ölçek: 10 m Plazma Süresi: 10 ² - 10 ² sn	Ölçek: 10 ³ m Plazma Süresi: 10 ² - 10 ² sn
Isıtma Mekanizmaları	Sıkıştırma Füzyon Ürününün Kendi Enerjisi	Elektromanyetik Dalgalar Ohmik Isıtma (Elektrik) Yüksüz Demet Enjeksiyonu (Hidrojen Atomu Demetleri) Sıkıştırma Füzyon Ürününün Kendi Enerjisi	Sıkıştırma (Lazer ya da iyon demetleri; ya da bunlardan kaynaklanan X-ışınları kullanarak hedefteki yakıt tabletinin sıkıştırılması.) Füzyon Ürününün Kendi Enerjisi

YAPAY FÜZYON, yeryüzünde gerçekleştirilebilmesi için, atomların çok yüksek sıcaklıklara (normal olarak 10 milyon K'nin üzerinde) kadar ısıtılmasını gerektiren bir süreç. Böylesine yüksek sıcaklıklarda atomlar iyonize olurlar (elektronlarını yitirirler) ve plazma haline gelirler. Net enerji kazancı için plazmanın, çok sayıda füzyon tepkimesine olanak verecek bir süreyle birarada tutulması (hapsedilmesi) gerekir. Gerçekleştirilebilmeleri halinde füzyon enerji santralleri, döteryum gibi yakıtların bolluğu nedeniyle neredeyse sınırsız bir enerji kaynağı yaratacaklar. Bu amaç doğrultusunda bir hayli yol almış bulunuyor.

PLAZMALAR - MADDENİN 4. HALİ

TİPİK PLAZMALARIN ÖZELLİKLERİ

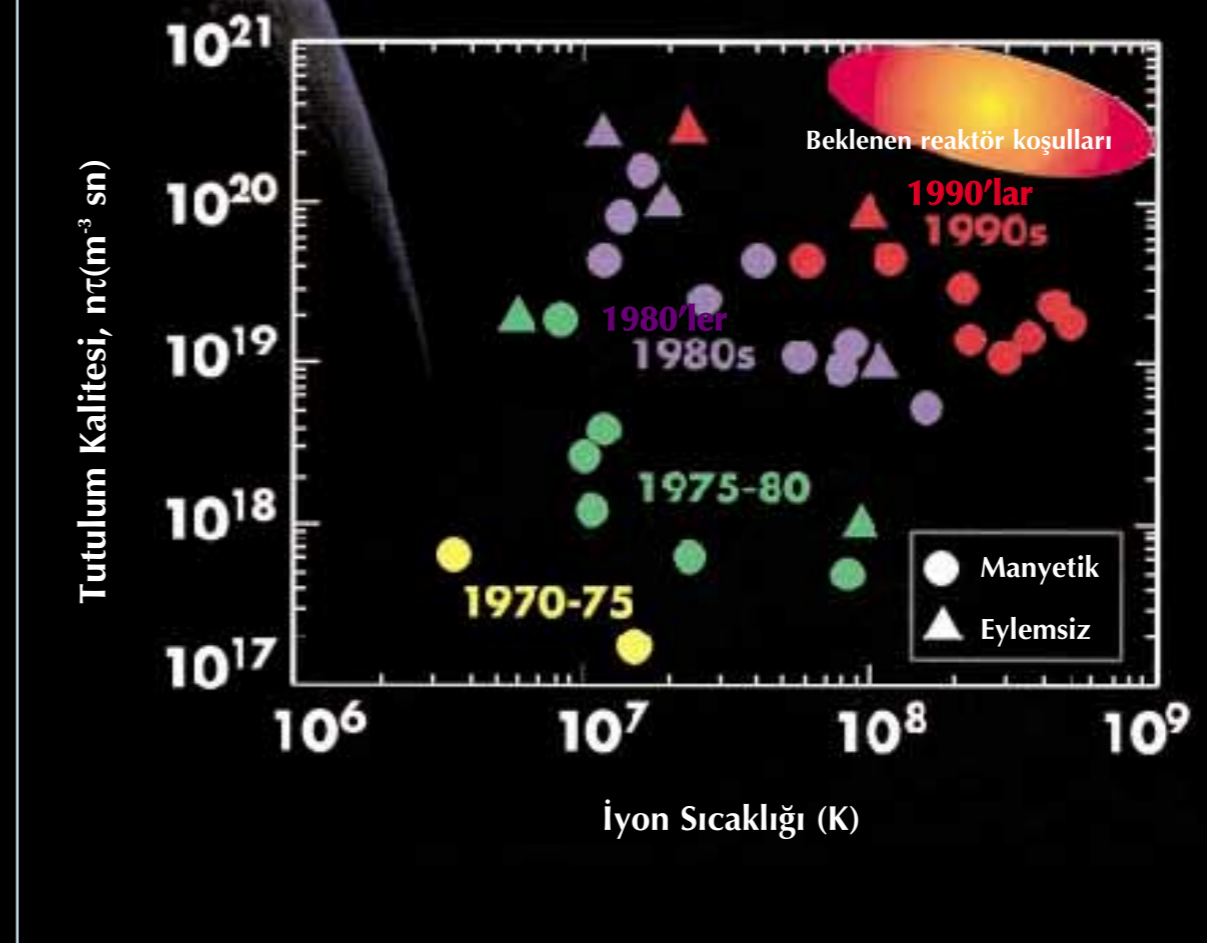
Plazmalar, serbestçe hareket eden elektrik yüklü parçacıklardan, yani elektron ve iyonlardan oluşur. Elektronların yüksüz atomlardan, koptukları yüksek sıcaklıklarda oluşan plazmalar, doğada birçok biçimde görülür. Örneğin, yıldızlar büyük ölçüde plazmadan oluşur. Plazmalar, özellikleri kendilerini katı cisimlerden, sıvılardan ve gazlardan farklı kıldığı için "maddenin 4. hal" sayılıyorlar. Plazmalar çok farklı yoğunluk ve sıcaklıkta bulunurlar.



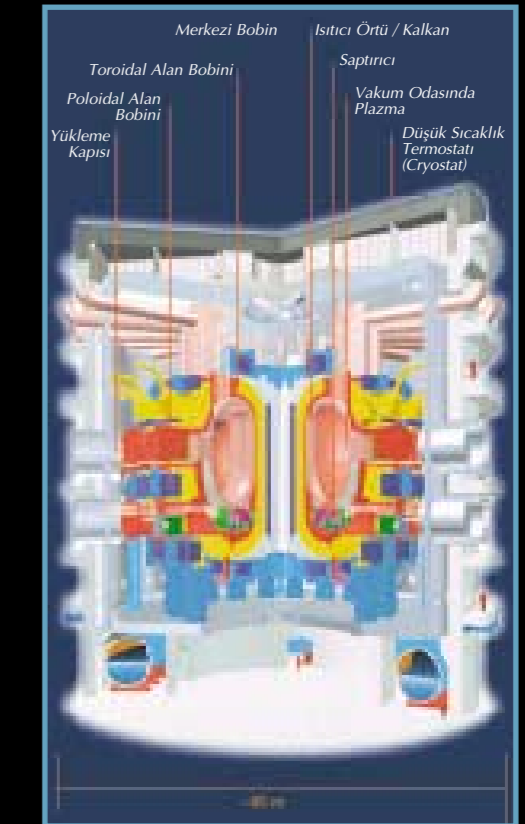
FÜZYON KOŞULLARININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

FÜZYON ARAŞTIRMALARINDA DENEYSEL SONUÇLAR

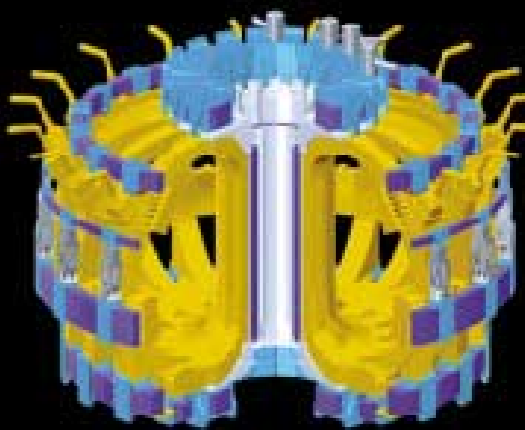
Hem eylemsiz, hem de manyetik tutulum füzyon araştırmalarında çabalar plazmanın tutulması ve ısıtılması üzerinde odaklanmış bulunuyor. Bu araştırmalar plazma sıcaklığı T, yoğunluğu n, ve enerji tutulum süresinde, τ , artışlar sağladı. Füzyon reaktörlerine dayalı geleceğin enerji santrallerinin, plazmalarının $n\tau = 2 \times 10^{20}$ m⁻³ sn enerji yoğunluk süresi ve T = 120 milyon K sıcaklığı erişmeleriyle, 1 GW (milyar Watt) enerji üretmeleri bekleniyor.



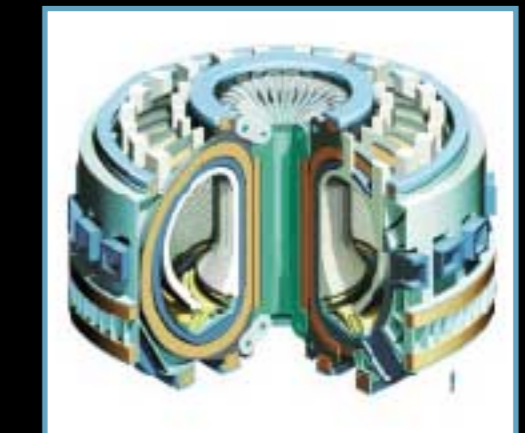
İngiltere'deki Culham Laboratuvarı'nda bulunan JET (Ortak Avrupa Torusu), Tokamak türü deney reaktörlerinin günümüzde varolan en büyüğü.



Yüksek maliyeti nedeniyle yapımı tehlikeye giren, ITER Tokamak türü füzyon deney reaktörü. Avrupa ülkeleri ve Japonya, boyutlarını ve fiyatını küçülterek projeyi kurtarmaya çalışıyorlar.



ITER reaktöründe vakum odasında plazmayı oda çeperlerinden uzak tutarak soğumasını engelleyen mknatis düzeneği.



ITER içinde füzyon tepkimelerinin gerçekleşeceği, halka biçimli vakum odası.



Vakum odasındaki plazma için bilgisayarca oluşturulan görüntü