

**YÜKSEK ENERJİ FİZİĞİNE GİRİŞ**

**MBN 315**

# **NÖTRON ÜRETEÇLERİ**

**Murat Berke OKTAY 141501003**

**Batu CANDAN 141501023**

**Serkan AKAGÜNDÜZ 121501045**

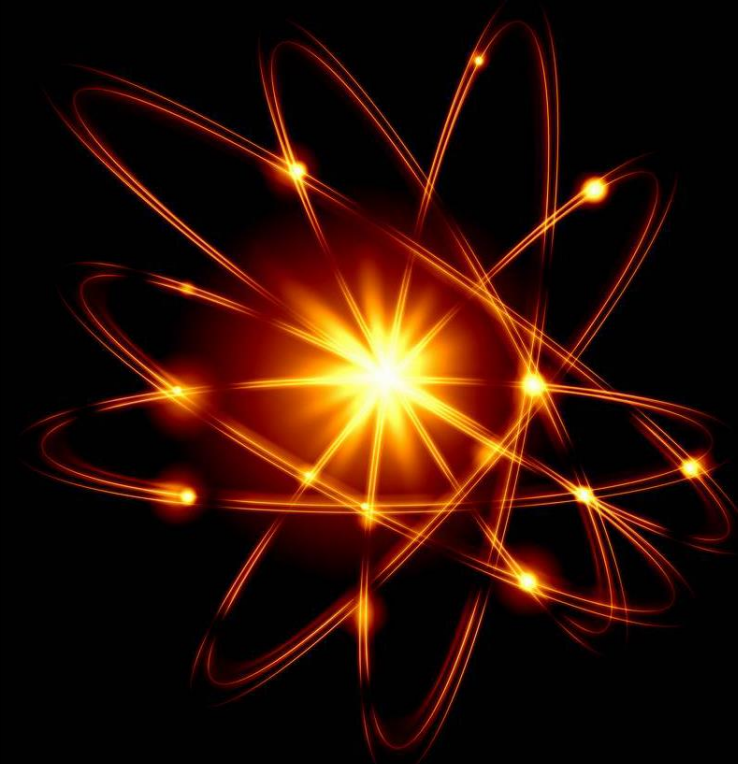
**Celal Tayfur KOÇ 141201036**

**Hüseyin YILDIRIM 141201034**

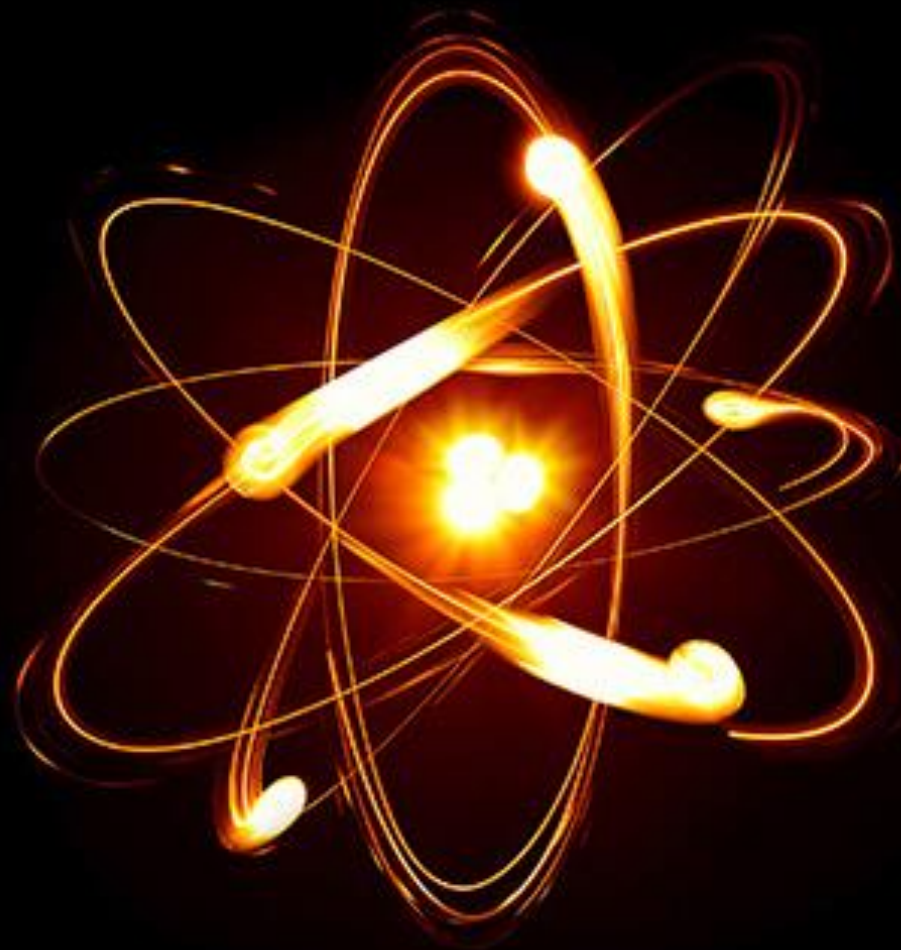
**GRUP 5**

# Sunumun İçeriđi

- **Nötron**
- **Nötron Üreteçleri**
- **Nötron Üreteçlerinin alıřma Prensipleri**
- **Nötron Üreteci eřitleri**
- **Nötron Üreteçlerinin Kullanım Alanları**
- **Nötron Üreteçlerinin Belirli Uygulamaları**
- **Nötron Üreteçlerinin Dünya'da Geldiđi Yer**
- **Nötron Üreteçlerinin Türkiye'de Geldiđi Yer**
- **Nötron Üreteci Teknolojisinin Geleceđi**



# Nötron



# Nötronun Keşfi



**Ernest Rutherford**

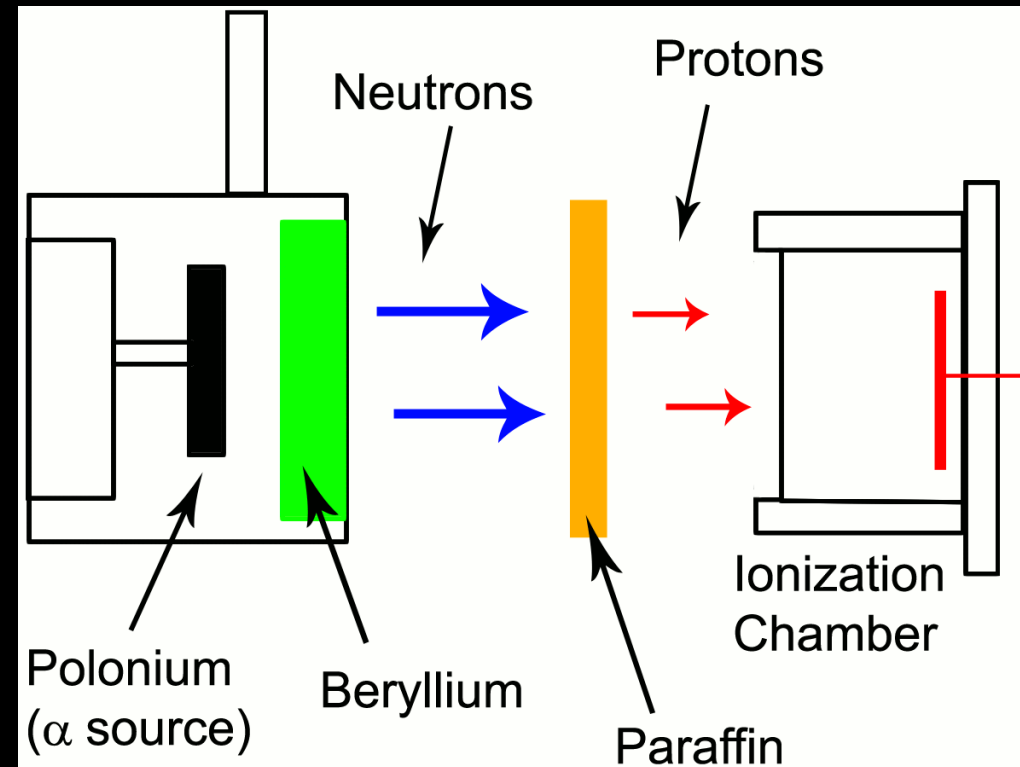


**James Chadwick**

# Nötronun Keşfi

Nötronun keşfi de atom ile ilgili çığır açan pek çok gelişmenin gerçekleştiği zamanlardan olan 20. Yüzyılın başlarına tekabül etmektedir. 1911'deki Rutherford atom modeline göre atom pozitif yüklü küçük bir çekirdekten ve negatif yüklü elektronların oluşturduğu çekirdeğin etrafındaki çok daha büyük bir bulutsudan oluşmaktaydı. 1920 yılında Ernest Rutherford, atomun çekirdeğinin pozitif yüklü protonlardan ve elektronlarla protonların bir şekilde birleşerek oluşturdukları net elektrik yükü olmayan parçacıklardan oluştuğunu önermiştir. 1932 yılında ise yine Rutherford gibi bir fizikçi olan James Chadwick, Berilyum bir plakayı alfa parçacıkları ile bombardıman ederek nötronun varlığını kanıtlamıştır [1].

# Nötronun Keşfi



# Nötronun Yapısı



Up kuvark  $+\frac{2}{3}e$



Down kuvark  $-\frac{1}{3}e$

Kütlesi =  $1.6749 \times 10^{-27}$  kg  
=  $939.5656$  MeV/c<sup>2</sup>  
=  $1.0086647$  u

# Nötronun Yapısı

**Nötronun yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için nötronun da alt düzeyine inmek gerekir. Nötronun alt düzeyine inerek çekirdek etkileşimlerini, çekirdek içindeki kararlılık ve kararsızlık durumlarını daha iyi anlayabilmek mümkün olur ve nötronun ileri teknoloji uygulamaları mümkün kılınabilir. Nötron iki tane aşağı (down) ve bir tane yukarı (up) olmak üzere toplam üç tane kuarktan ve bu kuarkları bir arada tutan gluon etkileşimlerinden oluşmaktadır.**



# İlk Nötron Üreteçleri

U<sup>235</sup>

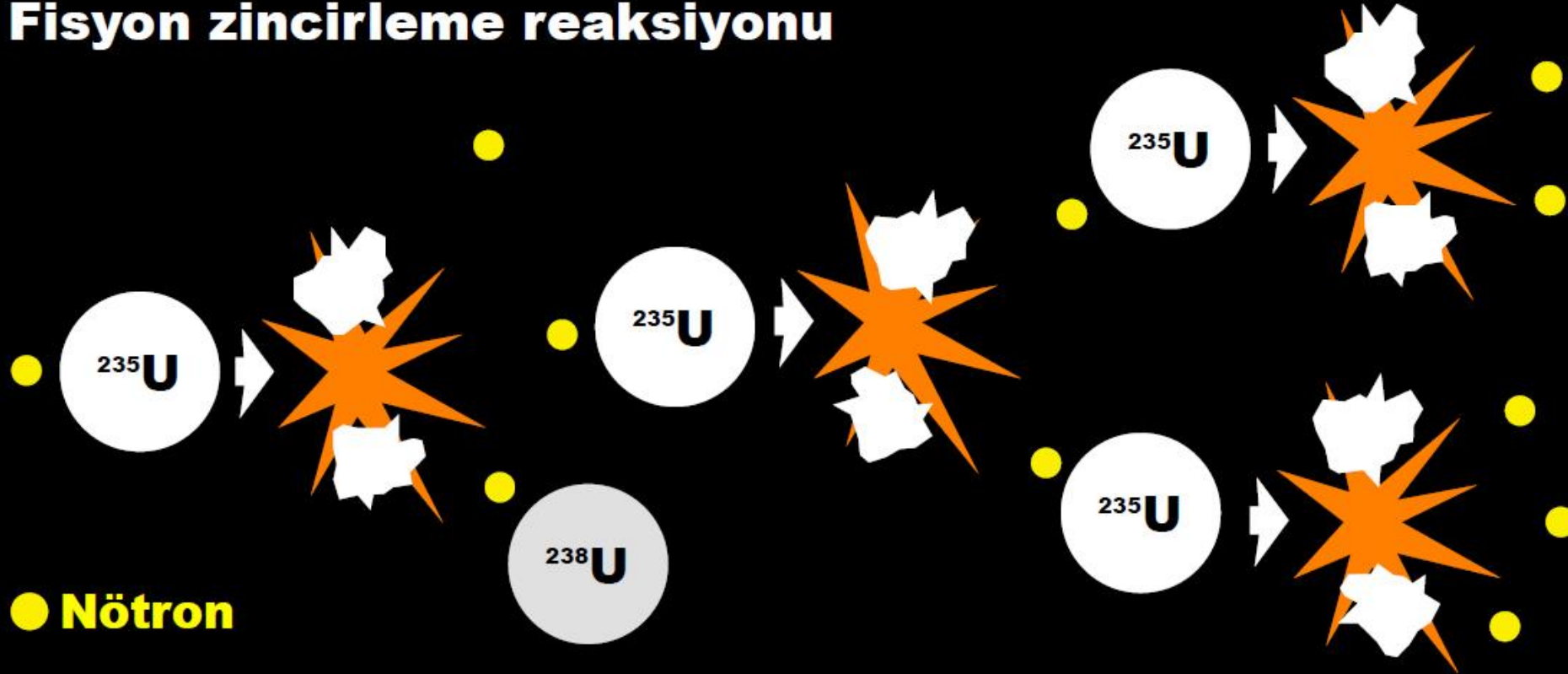


# İlk Nötron Üreteçleri

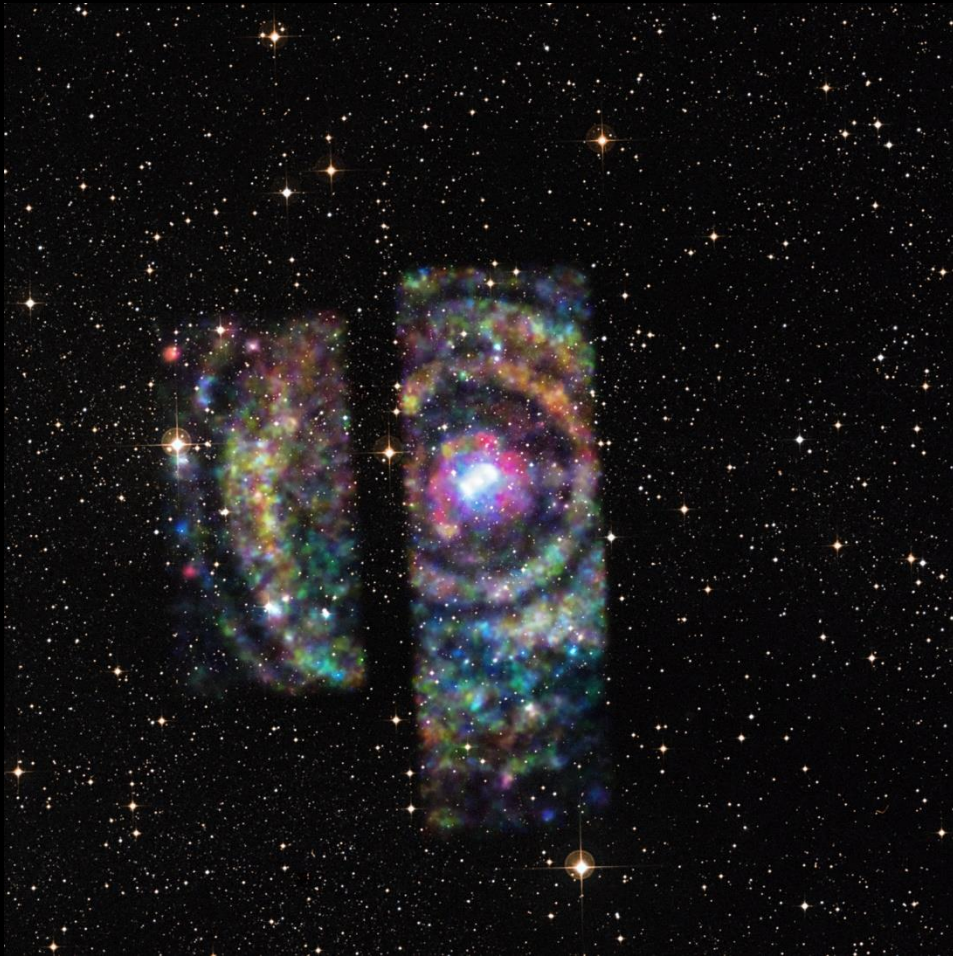
İnsan yapımı nötron üreteçlerinin bir bakıma ilk örneklerinden biri nükleer fisyon reaksiyonlarıyla güç üreten enerji santralleriydi. Nükleer fisyon reaksiyonlarında nasıl nötron açığa çıktığı, durumu anlatan denklemler ile birlikte bir sonraki slaytta gösterilmiştir.

# İlk Nötron Üreteçleri

## Fisyon zincirleme reaksiyonu



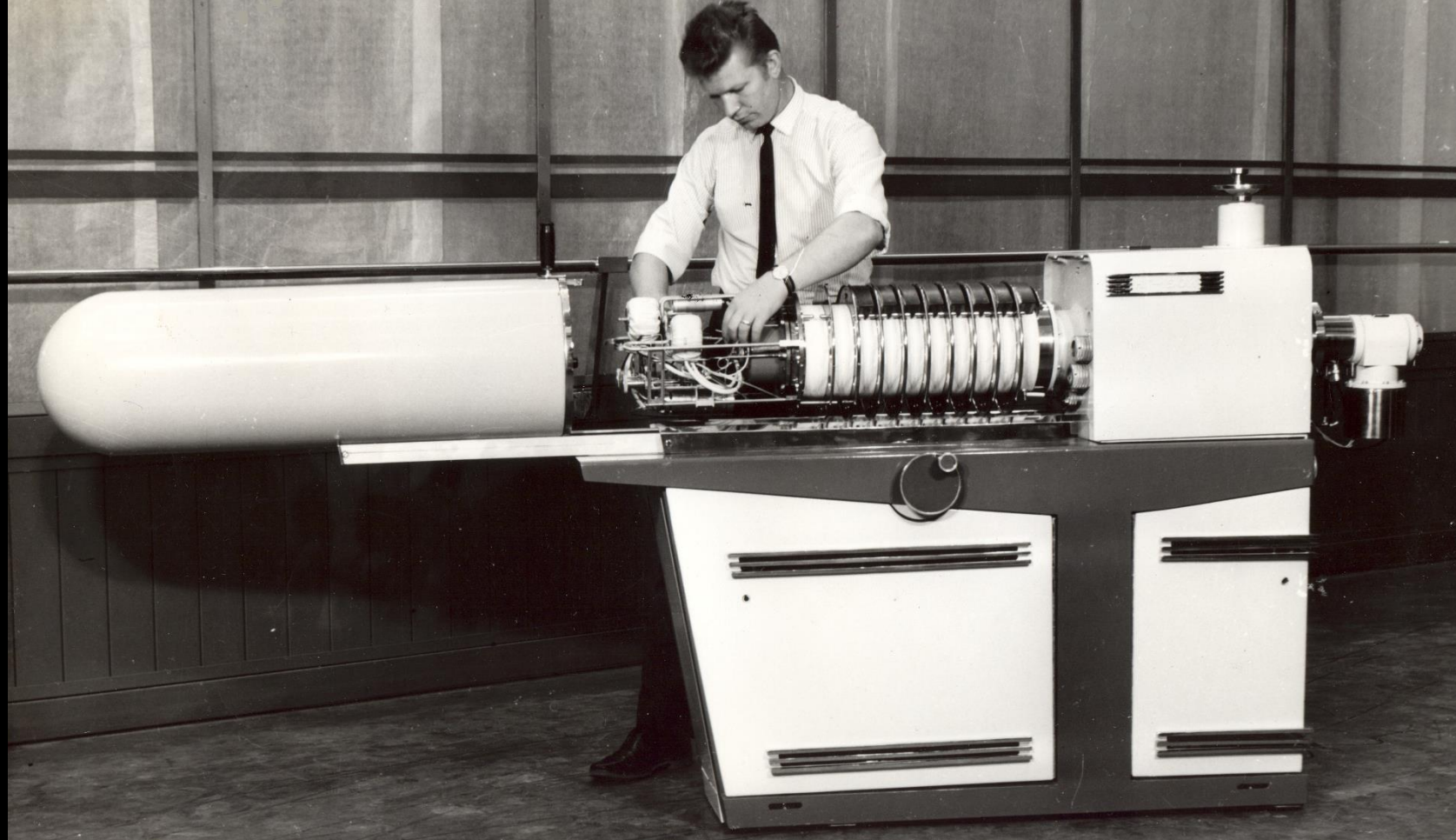
# Doğal Nötron Üreteçleri



# Doğal Nötron Üreteçleri

Günlük hayatta karşılaştığımız, sık rastlanan doğa olaylarından olan, şimşek çakması gibi olaylar sonucu nötron açığa çıkmaktadır. Dünyamıza gelen kozmik ışınlar dünyamızın atmosferinde veya yeryüzünde serbest haldeki nötronların oluşumuna neden olabilir, nötron üreteçleri gibi davranabilirler. Bunlar haricinde daha belirgin bir şekilde nötron üretici karakteri sergileyen yegâne cisimlerse pulsarlardır. Pulsarlar, bir yıldızın içine çökerek oluşturduğu, çok ama çok yoğun nötron ışınımı yapan gök cisimleridir. Belirli aralıklarla uzaya radyo dalgaları gönderen bu cisimlerin yaydıkları ışınların etkileri bilim insanları tarafından gözlemlenebilmiştir [3].

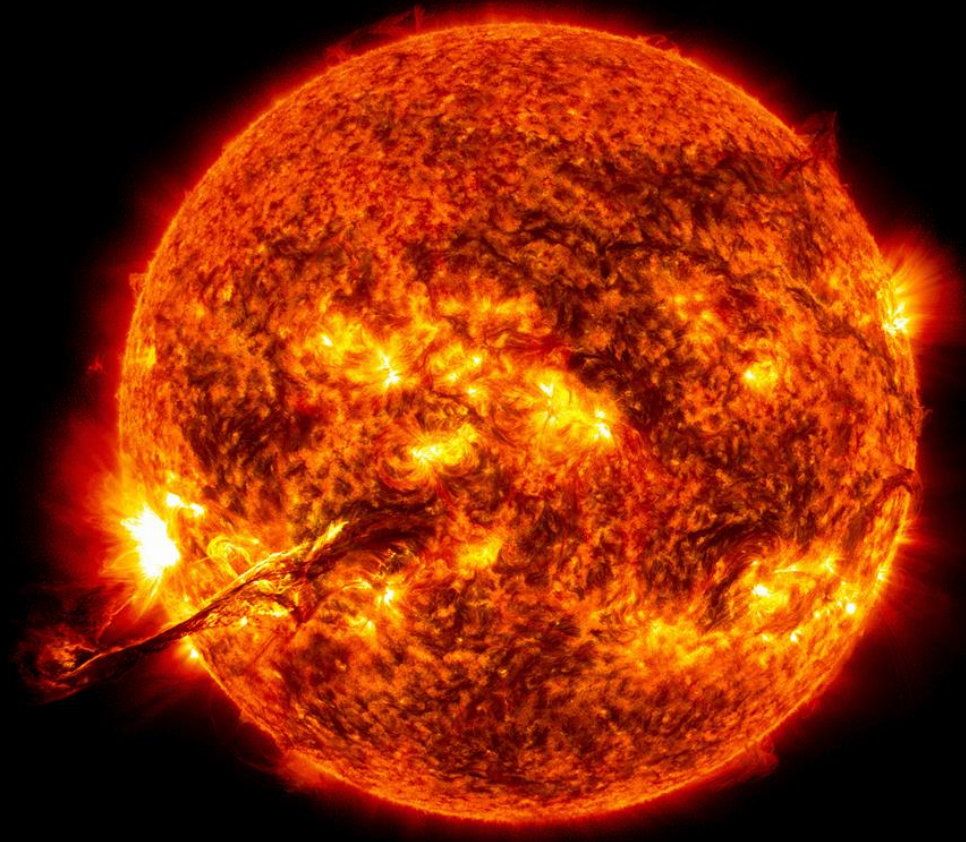
# İnsan Yapımı Nötron Üreteçleri



# İnsan Yapımı Nötron Üreteçleri

**Chadwick'in deney düzeneğinde kullandığı, berilyumu polonyum ile elde ettiği alfa ışınlarıyla bombardıman ettiği, nötron kaynağı olarak davranan sistem ilk yapay nötron üreteçlerinden düşünülebilir. İnsan yapımı nötron üreteçlerinin bir bakıma ilk örneklerinden bir başkası da nükleer fisyon reaksiyonlarıyla güç üreten enerji santralleriydi. Nötronun yapısı, keşfinin arkasında yer alan mantığı ve doğal nötron üreteçleri, insan yapımı üreteçlerin anlaşılması için iyi bir temel oluşturmaktadır fakat insan yapımı üreteçlerin işleyişi bunlardan fazlasının anlaşılmasını gerektirmektedir.**

# Çalışma Prensipleri

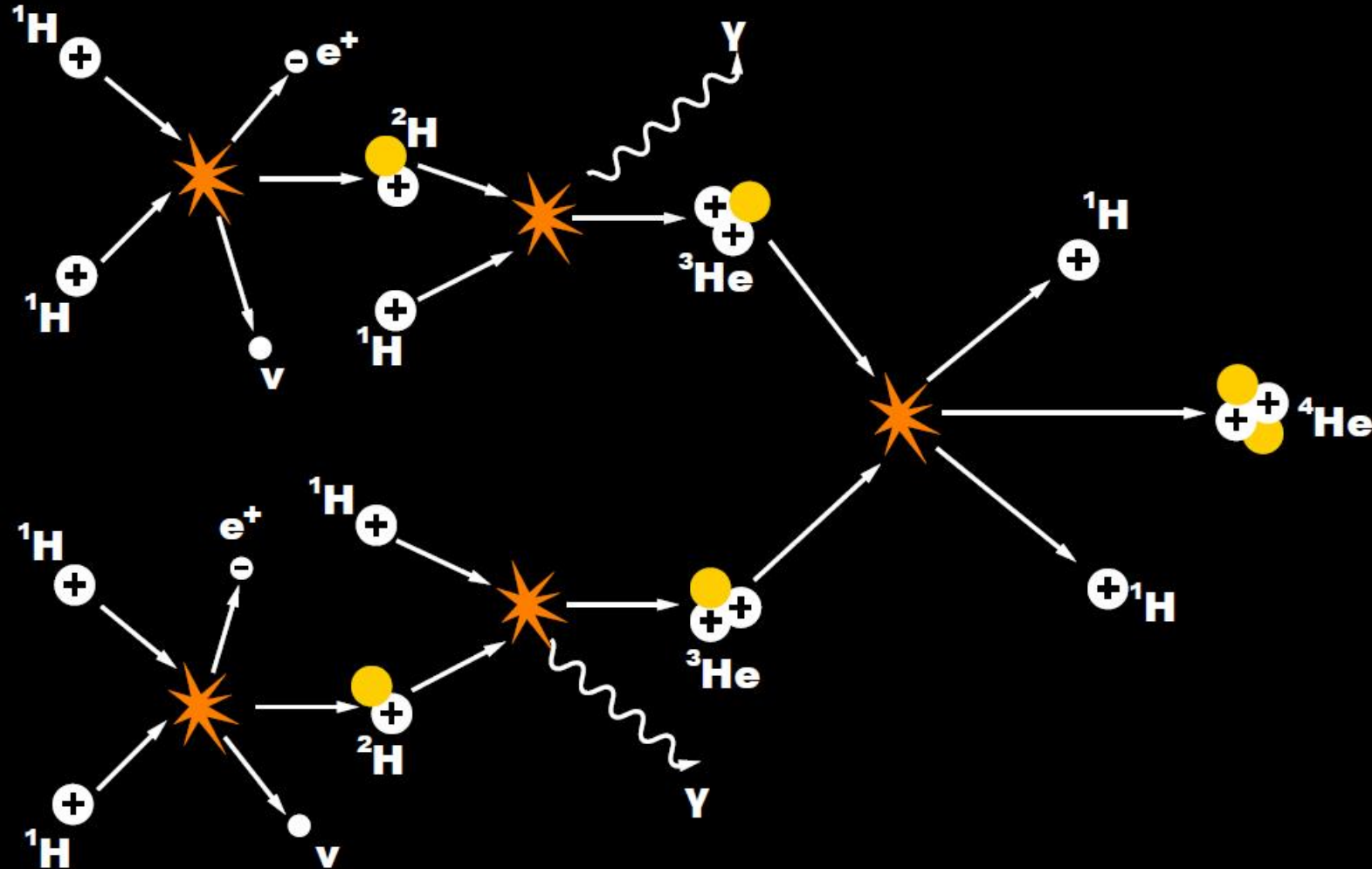




# Çalışma Prensipleri

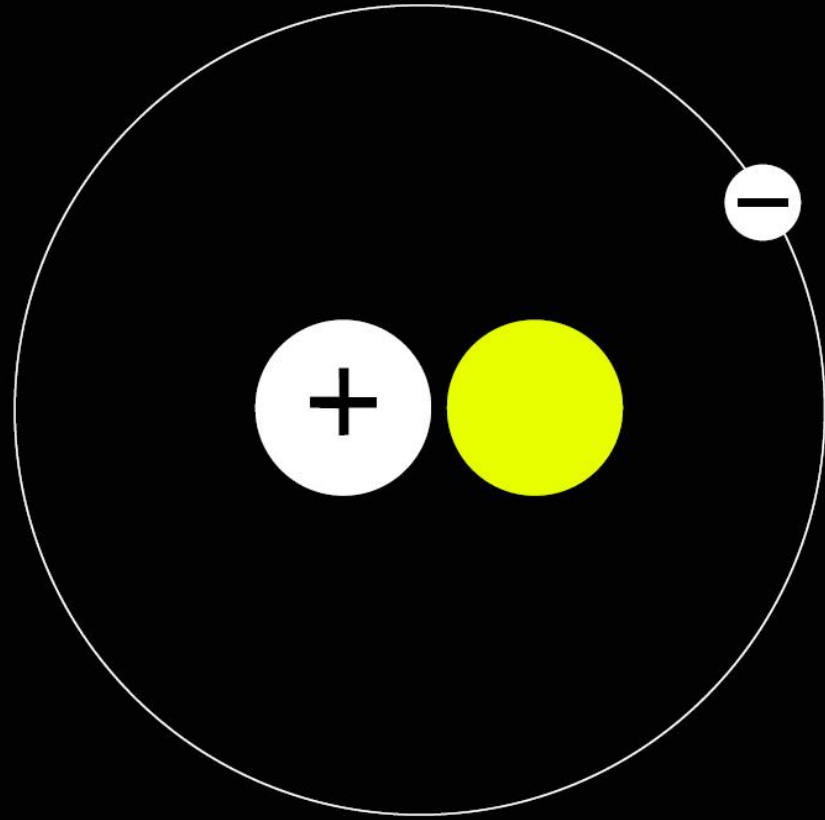
Günümüzde nötron üreteçleri füzyon reaksiyonları sonucu açığa çıkan nötronların kullanımına dayanmaktadır. Nükleer füzyon, iki veya daha fazla atom çekirdeğinin yeterince birbirlerine yaklaşarak yeni bir veya daha fazla atom çekirdeği ve başka atomaltı parçacıklar oluşturmaları olarak tanımlanabilir. Güneşin ve diğer yıldızların ana yakıtı nükleer füzyon reaksiyonlarıdır ve bunun nasıl gerçekleştiği füzyon hakkında bir fikir edinilmesi için bir sonraki slaytta gösterilmiştir. Nötron üreteçlerinde yıldızlardakinden daha farklı tepkimeler söz konusudur ve nötron üreteçlerinde gerçekleşen füzyon reaksiyonlarına ilerleyen kısımlarda değinilmiştir [5].

# Füzyon Örneği

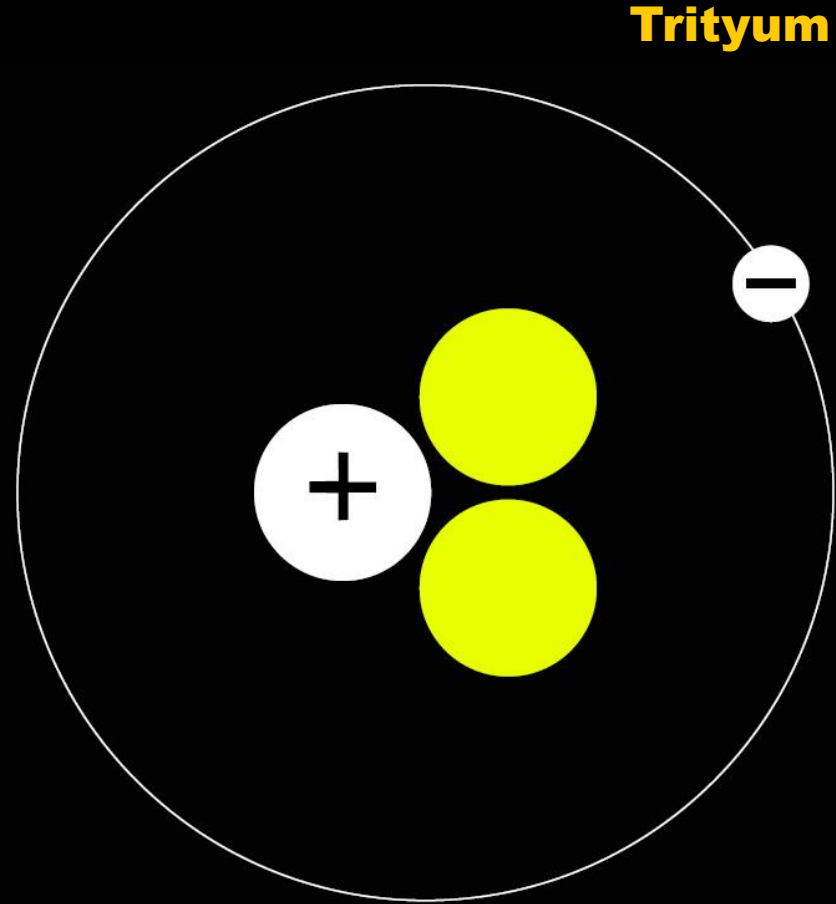
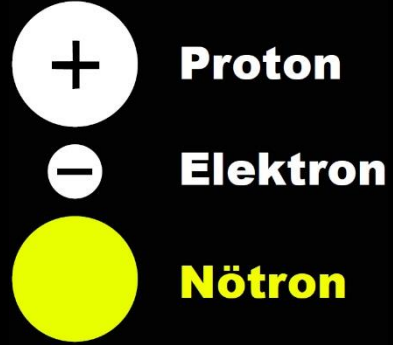


**Güneşteki  
Proton-Proton  
Zincirleme  
Reaksiyonu**

# Hidrojen İzotopları



**Döteryum**

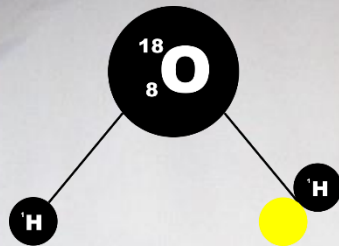


**Tritiyum**

# Hidrojen İzotopları

Günümüzde nötron üreteçlerindeki füzyon reaksiyonlarında kullanılan çekirdekler hidrojenin izotoplarıdır. İzotop, aynı atom numarasına ve farklı kütle numaralarına sahip atomları ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Başka bir deyişle birbirlerinin izotopu olan atomların proton sayıları aynı, nötron sayıları farklıdır. Hidrojenin bu zamana kadar bilinen 7 izotopu vardır. Bunlardan 3'ü doğada bulunur, diğer 4'ü ise laboratuvar ortamında sentezlenmiştir. Sadece protonu olan, nötronu olmayan ve doğada en çok bulunan, hidrojen denilince kastedilen izotop protyumdur.

# Ağır Su

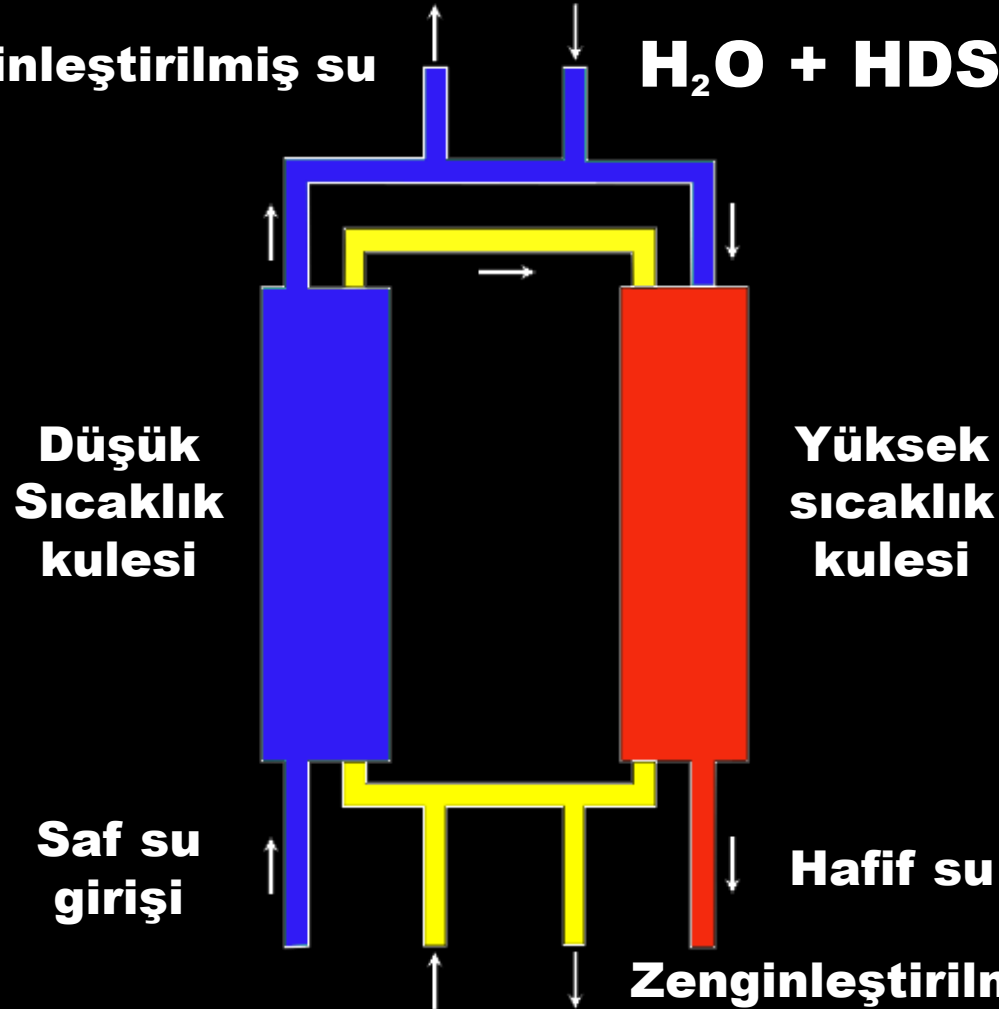


# Ağır Su

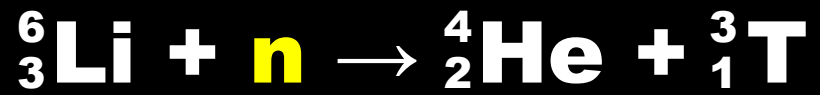
Ağır su, moleküllerinde bulundurduğu döteryum atomları açısından zengin su olarak tanımlanabilir. Döteryum yerine trityum içeren veya ağır oksijen içeren su molekülleeri de ağır su molekülleeri olarak adlandırılabilir fakat bu konu başlığı altında ağır su, genel olarak bulunduğu form için yani döteryum içeren molekülleerden oluşan su için kullanılacaktır. Normal sudan fiziksel, kimyasal ve nükleer özellikler bakımından farklıdır. Bulundurduđu yüksek miktardaki döteryumdan dolayı döteryum elde edilisinde kullanılır. Ağır su okyanus sularında bulunduğu için bir takım kimyasal süreçlerle okyanus sularından elde edilebilir. Bunun için en yaygın yöntem Girdler sülfür işlemidir. Le Chatelier ilkesine göre işletilen bu sistemde mevcut denge durumuna dışarıdan sıcaklık ve konsantrasyon değişimi gibi etkiler verilerek ağır su zenginleştirilmeye çalışılır[7].

# Ağır Su Eldesi

Zenginleřtirilmiř su  $\text{H}_2\text{O} + \text{HDS} \rightleftharpoons \text{HDO} + \text{H}_2\text{S}$



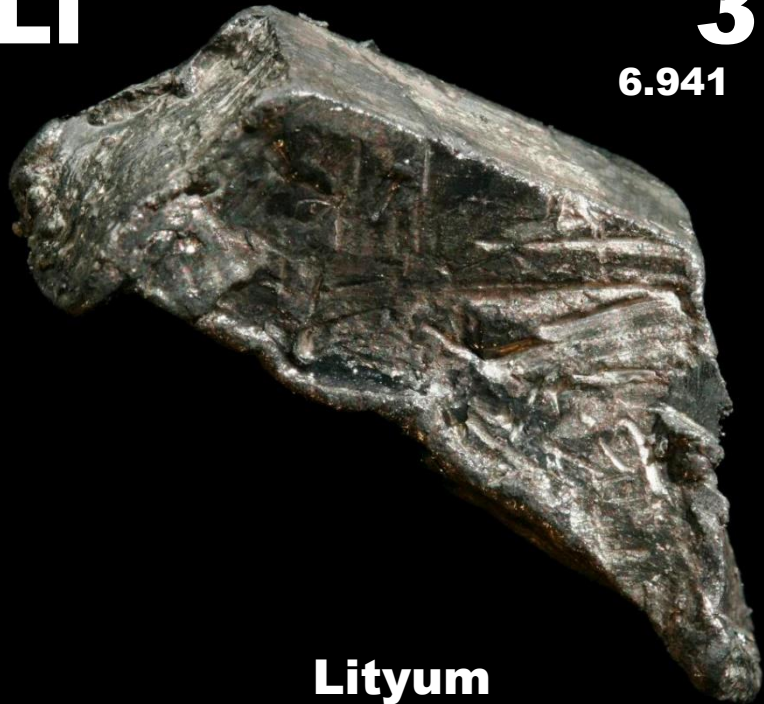
# Tritiyum Eldesi



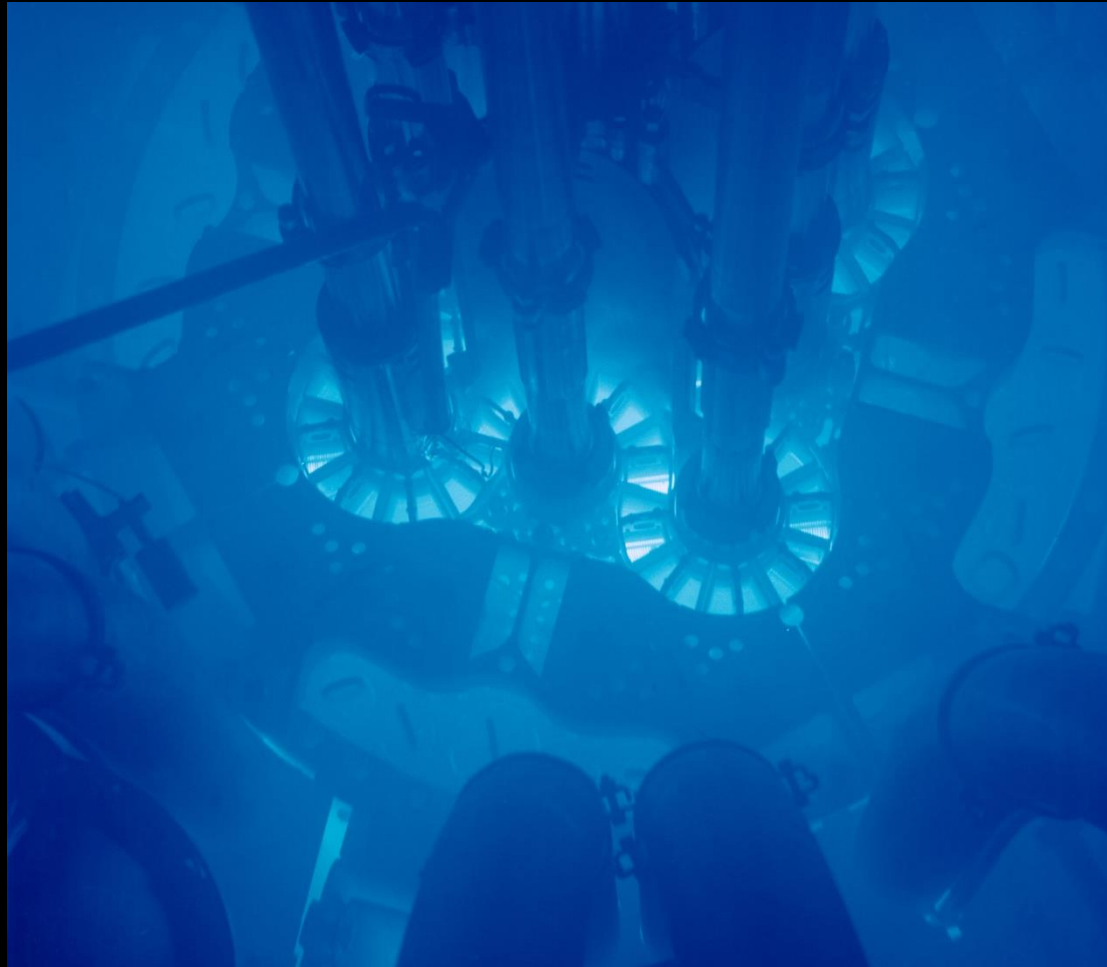
**Li**

**3**

6.941



**Lityum**





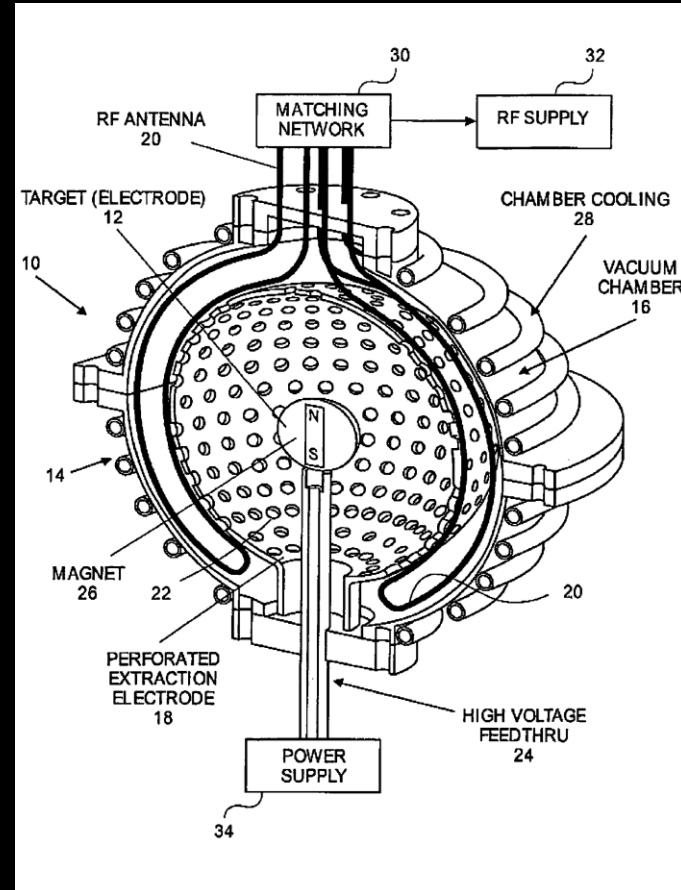
# **Tritiyum Eldesi**

**Tritiyumun elde ediliŖi biraz daha karmaŖıktır. Tritiyum doğada fazla bulunmadığından, bulunduğu yerlerden elde edilmesi için de yeterli bir sistem bulunmadığından yapay olarak üretilmesi en uygun olanıdır. Lityum-6 elementinin nötron bombardımanına maruz bırakılmasıyla helyum-4 ve tritiyum elde edilmektedir.**

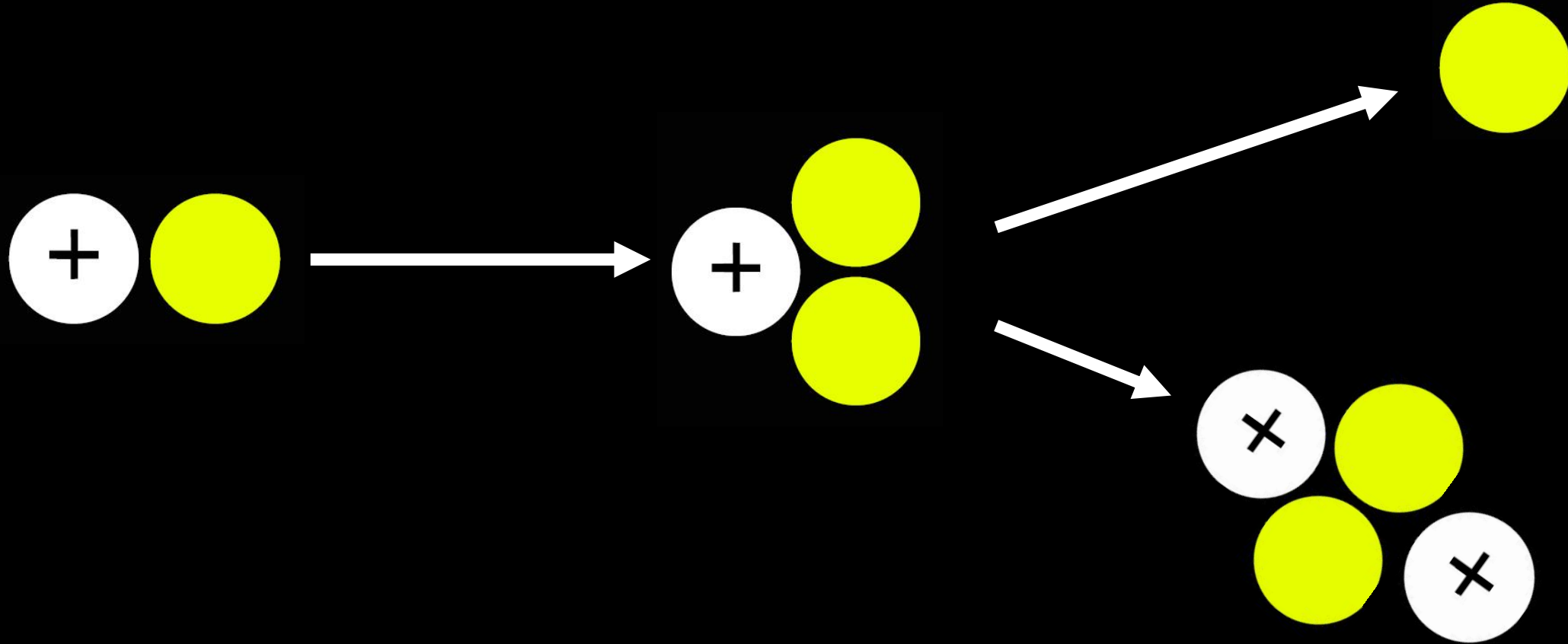
# Çalışma Prensibi



Nötron üreteçlerinde temel fonksiyon olan nötron üretimini gerçekleştirmek için verilen tepkimelerden birisi kullanılabilir. Verilen tepkimelerin her ikisinde de füzyon reaksiyonu gerçekleşmektedir. Üsttekinde döteryum ve trityum çekirdekleri, alttakinde de sadece döteryum çekirdekleri çarpıştırılmaktadır. Tepkimeler sonucunda da hidrojen izotopuna göre helyum-3 veya helyum-4 ve nötron açığa çıkmaktadır. Tepkimeler sonucu oluşan nötronların sahip oldukları  $E_n$  enerji değerleri de eşitliklerde belirtilmiştir. Nötron üreteçlerinin temelinde işte bu füzyon reaksiyonları yatar.



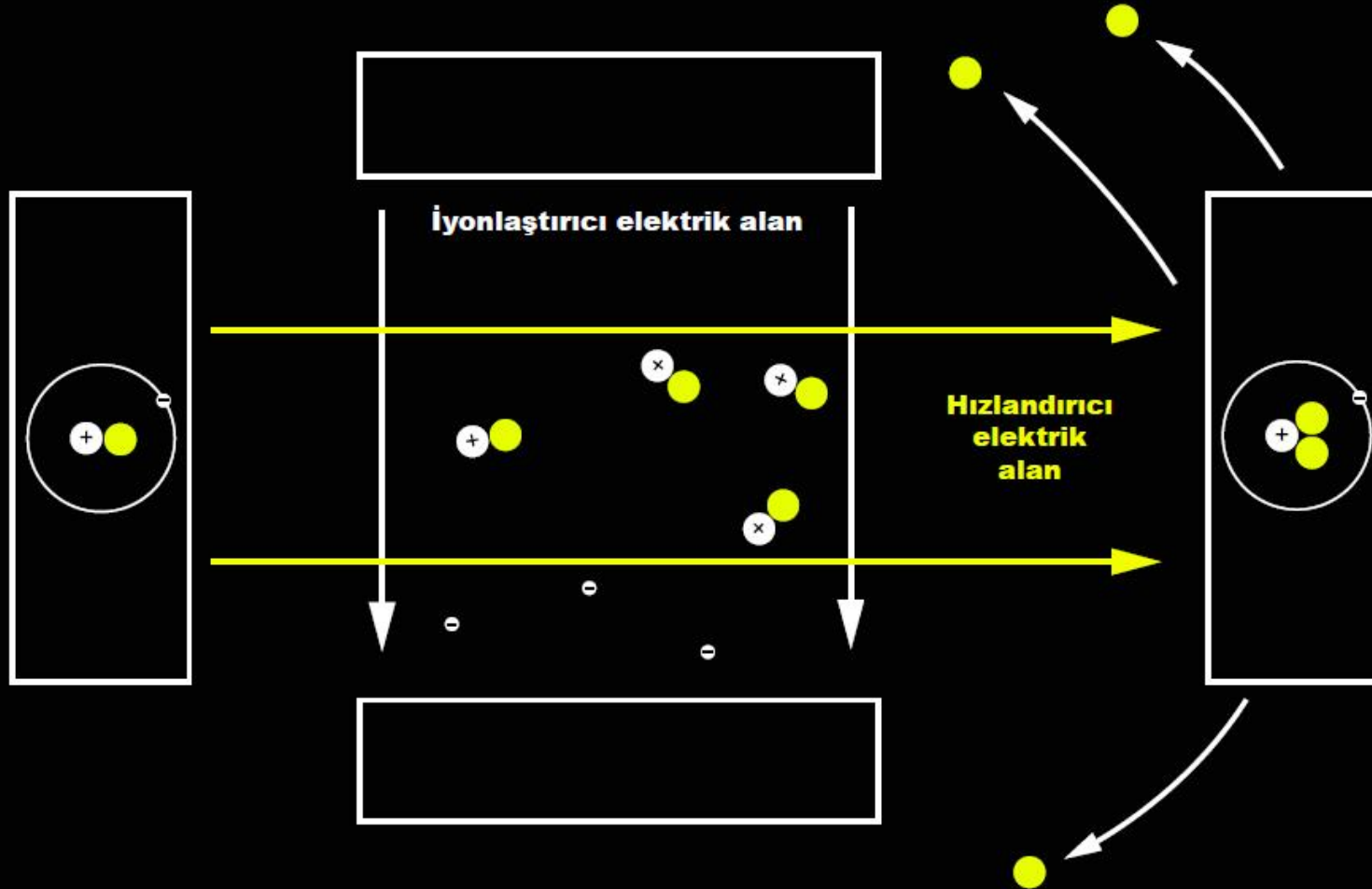
# Çalışma Prensipleri



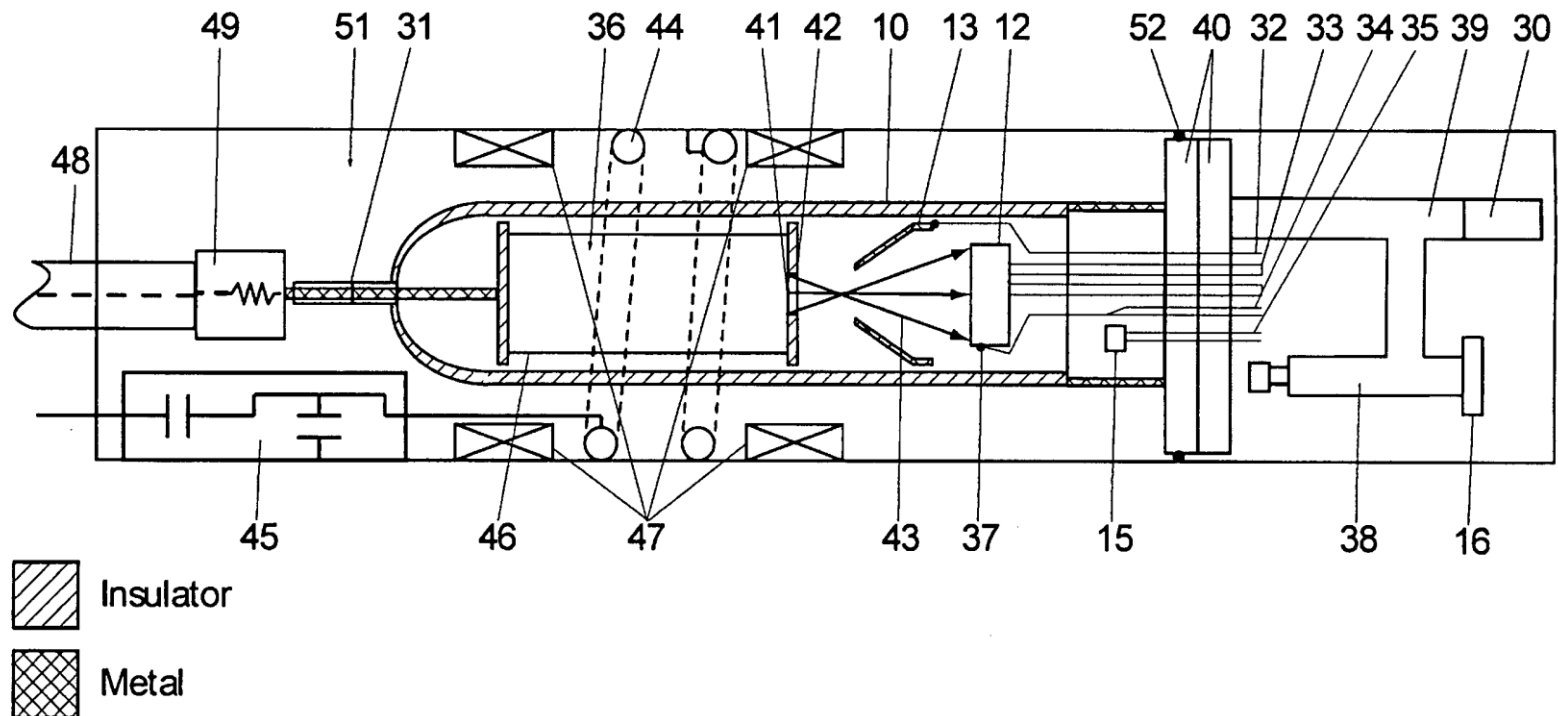
# Çalışma Prensibi

Nötron üreteçlerinde füzyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi için gerekli çarpışmalar lineer hızlandırıcılarla gerçekleştirilmektedir. Bu lineer hızlandırıcı sistemler belli bazı çarpıştırma deneyi merkezlerindeki çarpıştırıcılara göre oldukça küçüktür, bunların uygulamaları ve boyutları raporun ilerleyen bölümlerinde belirtilecektir. Boyut ve görevleri çeşitli olmakla birlikte temel mantık aynıdır. Bir sonraki slaytta oklarla belirtilen elektrik alanlarla nötron üreteçleri işlevlerini yerine getirmektedirler. Döteryum kaynağından çıkan döteryum atomları iyonlaştırıcı elektrik alanla elektronlarından ayrılmakta, döteryum çekirdekleri de hızlandırıcı elektrik alanla füzyon reaksiyonunu gerçekleştirecek hızlara ulaştırılarak trityum çekirdeklerine çarptırılmaktadırlar. Çarpışmalar sonucunda da nötron üretimi gerçekleşmektedir [8].

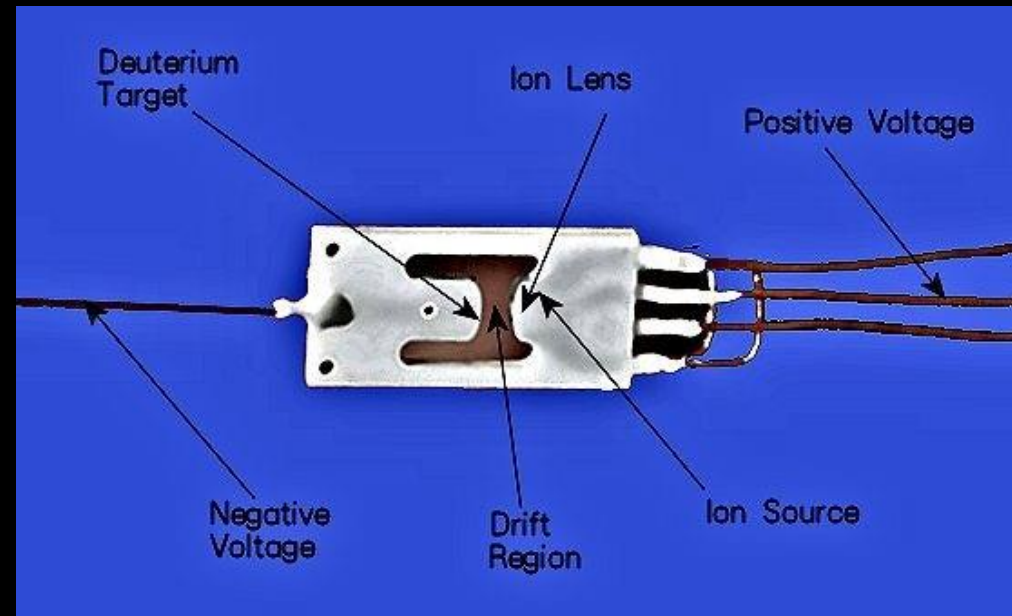
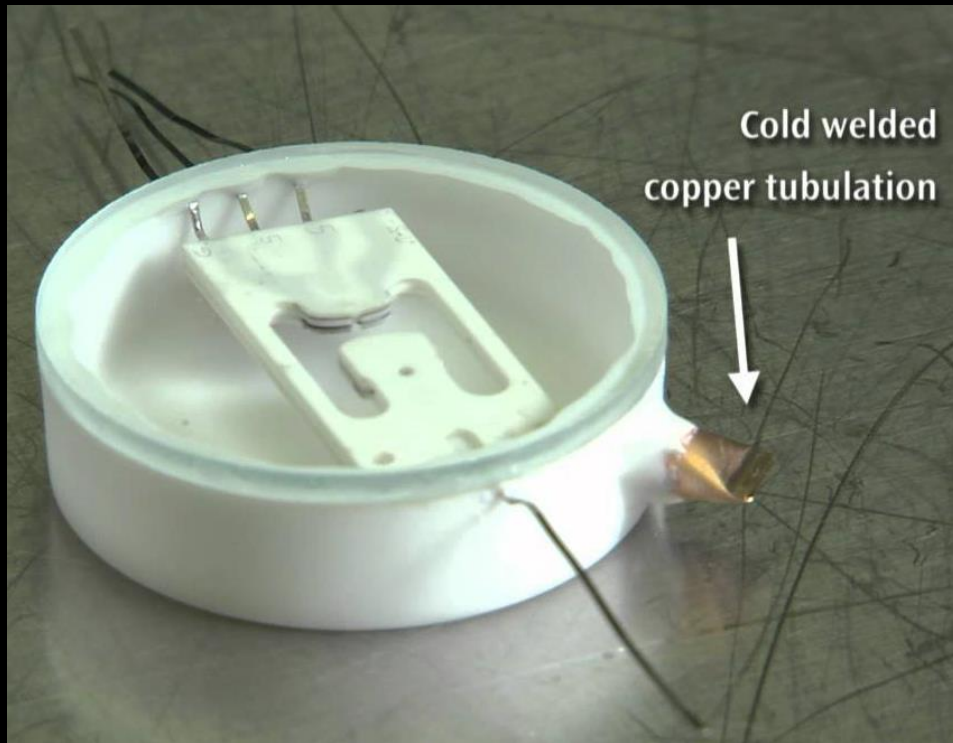
# Çalışma Prensipleri



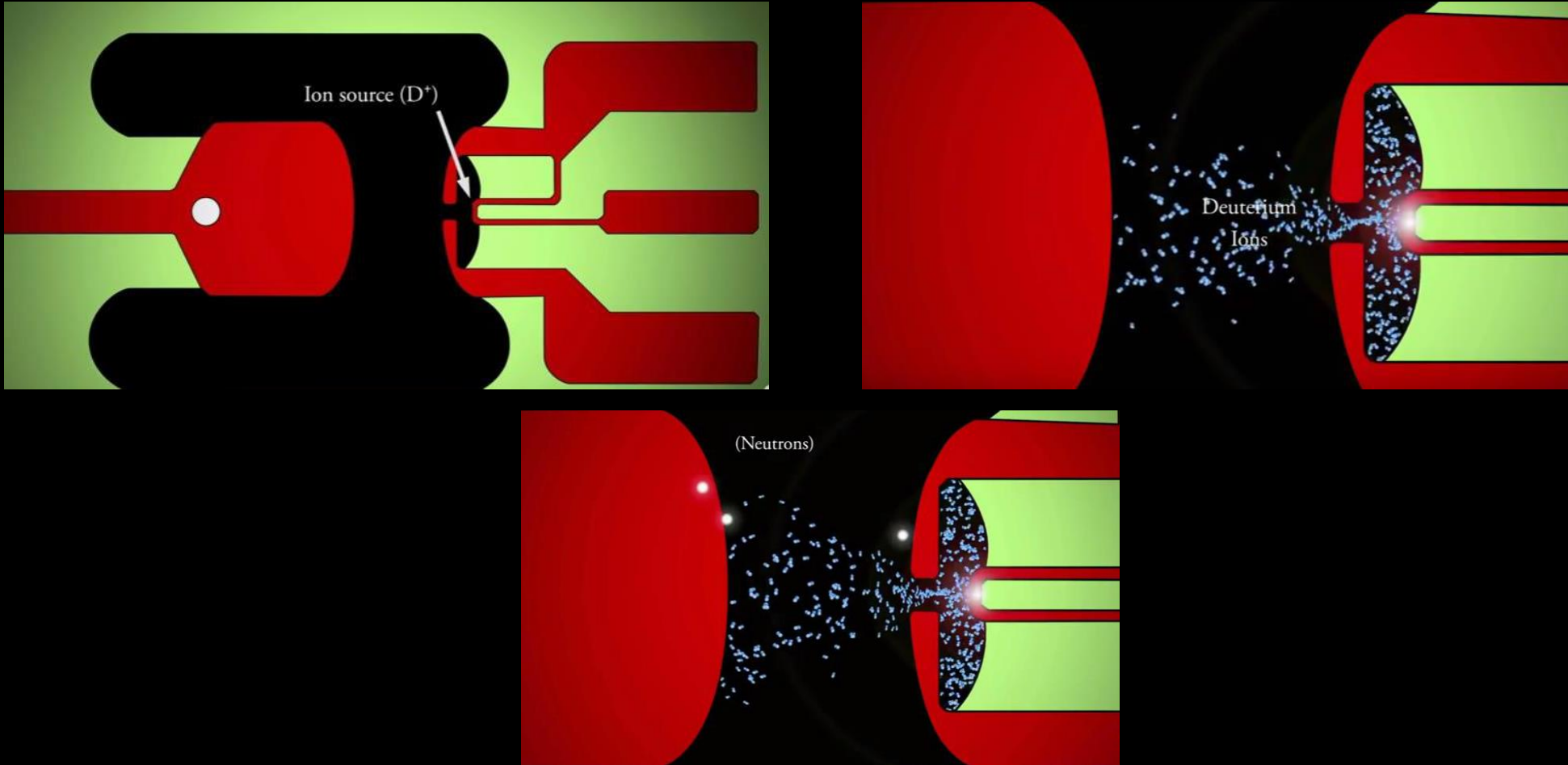
# Standart Nötron Üreteçleri



# Mobil Nötron Üreteçleri (Neutristor)



# Mobil Nötron Üreteçleri (Neutristor)





# Nötron Üreteçlerinin Kullanımı



# Bazı Kullanım Alanları



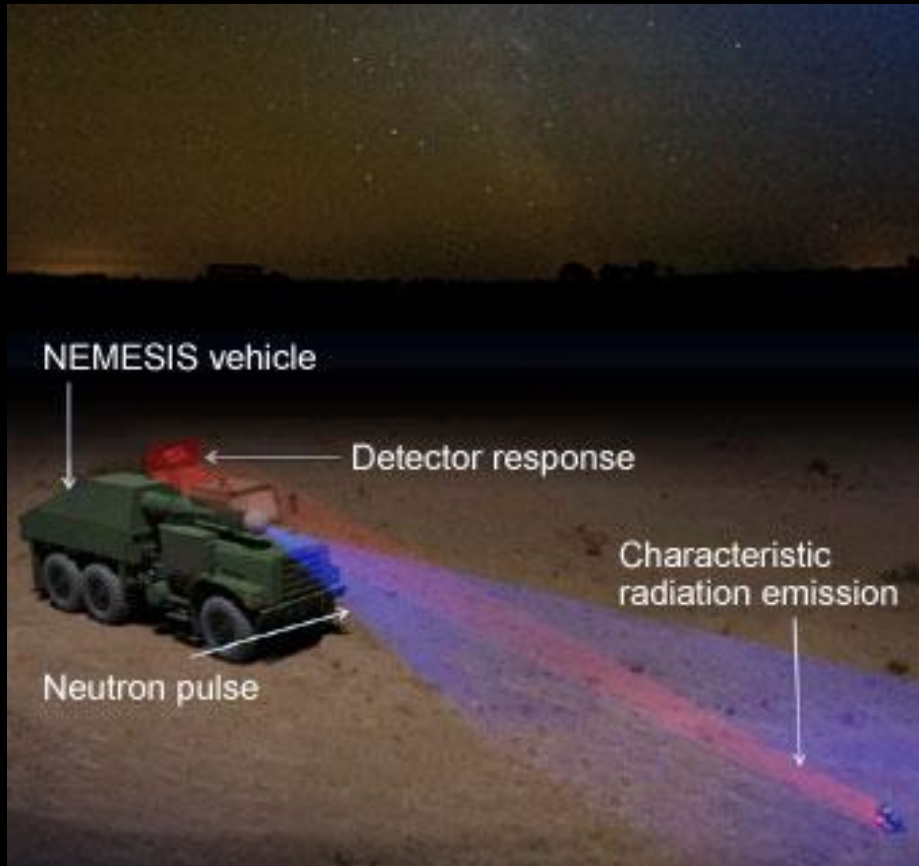
# Bazı Kullanım Alanları



# Bazı Kullanım Alanları

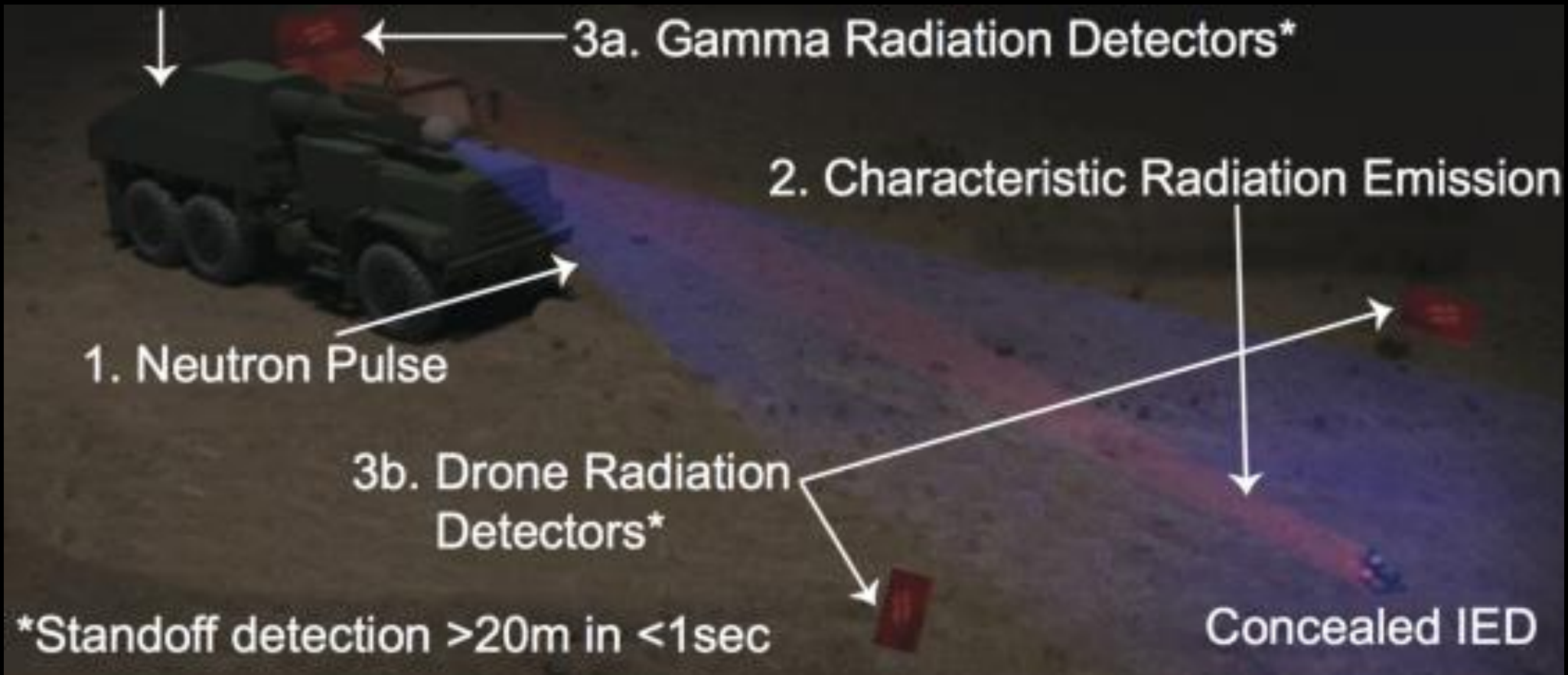


# Belirli Kullanım Alanları



# Belirli Kullanım Alanları

## NEMESIS



# Belirli Kullanım Alanları

**Detektör mekanizmasının taktik muharebe sınıfı bir askeri araca takılması ile bugün NEMESIS (Neutron Emitting Mobile Explosives Sensing and Identification System - Mobil Nötron Yayıcı Patlayıcı Algılama ve Tanımlama Sistemi) adı verilen Amerikan rüyası ortaya çıkmıştır. Üreticinde sahip olduğu ekipmanı ile çok yüksek gerilim farkları elde edebilmesi sayesinde açığa çıkarabildiği yaklaşık  $10^{14}$  adet nötronu tehlike arz eden hedefe odaklayarak, el yapımı ve spesifik patlayıcıların kimyasal kompozisyonunu (özellikle yüksek seviyedeki nitrojen ve oksijene çarpan nötronlardan açığa çıkan gama ışınımının basit radyasyon ölçerler yardımı ile saptanması sonucu) ortaya koyabilen NEMESIS, bütün bunları gerçekleştirirken yalnızca %5'lik bir hata payı aralığında ölçüm yapmaktadır [11].**

# Belirli Kullanım Alanları





# Belirli Kullanım Alanları

**Nötron Üreteçlerinin 1932'de nötronun keşfinin hemen ardından siklotronlar yardımı ile hayata geçirilmesinin bir sonucu olarak söz konusu üreteçlerin ilk pratik kullanım alanı da kaçınılmaz olarak tıp sektörü olmuştur. Proton terapi araştırmalarının revaçta olduğu bu dönemde Dr. Robert Stone 1938 Berkeley, California'daki siklotron üzerinde klinik araştırmalarına başlamıştır. Fakat kısa süre sonra bütün dünyanın var olan ekonomisini 2. Dünya Savaşı sebebi ile ağır sanayi ve savunma sanayine çevirmesi ile söz konusu çalışmalar sekteye uğramıştır. 1965 yılında Amerikan Hükümeti tarafından da desteklenen daha geniş bir bütçe ile başlayan çalışmalar 60'lı yılların sonunda nötron terapisinin bazı spesifik tümör ve kanser tiplerinde çok daha kolay tedavi imkanı sunduğunun görülmesi ile sonuçlanmış, takip eden 70'li yılların ortasında Seattle'daki Washington Üniversitesine bağlı medikal komplekste ilk hastalar tedavi altına alınmıştır. 1976 yılındaki bu büyük atılımdan sonra bugün Nötron Üreteci temelli terapi merkezleri dünyanın dört bir yanında (Rusya, Güney Afrika, Amerika, Almanya ve Japonya) kendisine yer bulmaktadır.**

# Dünyadaki Durum



# Dünyadaki Durum

**Atom düzeyindeki keşifleri ve nükleer silahlanma yarışını takiben süper güçlerin elinde ve Avrupa'da nükleer teknolojiler gelişmiş bir noktaya ulaşmıştır. Nükleer teknolojiler alanında önemli bir etkisi ve rolü olan temel atom altı parçacıklardan nötron, doğal olarak bu süper güçlerin ve Avrupa ülkelerinin ellerinde de daha gelişmiş bir noktada bulunmaktadır. Önceki bölümlerde açıklanan NEMESIS teknolojisi Amerika Birleşik Devletleri'nin askeri alanda nötron üreteçleri kullanmak konusunda ileri bir noktada olduğunu göstermektedir. Diğer askeri uygulamalardan bahsetmek gerekirse nükleer silahlanma yarışının olduğu zamanlardan kalma nötron bombası planları da mevcuttur. Bu bombanın yüksek oranda nötron radyasyonu salınımı yapmak gibi bir özelliği bulunmaktadır ve bu durum söz konusu teknolojilerin askeri amaçlarla ne kadar farklı şekillerde kullanılabileceğinin kanıtı niteliğindedir.**

**Önceki bölümlerde de değinildiği gibi nötron üreteçlerinin tıp alanında kullanımı askeri uygulamalara kıyasla daha pozitif yaklaşımlardan sayılabilir. Belirtildiği gibi nötron terapi merkezleri Rusya, Güney Afrika, Amerika, Almanya ve Japonya ülkelerinde bulunmaktadır. Nötristörlerin gelişimiyle bu uygulamalar zamanla daha da yayılabilir fakat şu anda Dünya'da sayılı noktalarda mevcuttur.**

**Bunlar haricinde büyük endüstriyel üretim kapasitesine sahip, gelişmiş havacılık ve uzay teknolojileri üreten, araştırma ve muayene sistemlerine nötron ışınlarını entegre eden sistemler kullanan ülkelerde (Fransa, Almanya, Japonya gibi) nötron üreteçleri mevcuttur. Kanada'da kullanılan CANDU tipi nükleer reaktörler ağır su kullandıklarından dolayı nötrona dayalı teknolojiler ülkede gelişmiş seviyededir.**

# Dünyadaki Durum



# Türkiye'deki Durum



**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU**

# Türkiye'deki Durum

Dünya'da 1940'lı yıllarda başlayan nötron parçacığının pratik uygulamalarına yönelik çalışmalar ülkemizde maalesef hala çok aktif bir şekilde bulunmamaktadır. Ülkemizde nötrona dayalı araştırmalar, nükleer araştırmalardan sorumlu Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) bünyesinde devam etmektedir fakat bu çalışmaların yeterli seviyeye gelmesi için daha çok yol alınması gerekmektedir. TAEK bünyesinde nötron üretici görevi üstlenen 400 kV ve 150 kV kapasiteye sahip iki adet hızlandırıcı bulunmaktadır. Aynı zamanda bir adet Hızlı Nötron Radyografi Sistemi geliştirme safhasındadır [13].

# Gelecek...



Gelecekte nötron ile tedavi sistemlerinin evlerde yer alabilecek noktaya ulaşabilmesi beklenmektedir.

**Gelecek...**





# **Sunumumuz bitti**

**Bizi dinlediđiniz için teŝekkür ederiz...**

# Kaynakça

- [1] «IAEA,» 29 Mart 2017. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.iaea.org/>.
- [2] «large.stanford.edu,» 11 Kasım 2001. [Çevrimiçi]. Available: <http://large.stanford.edu>. [Erişildi: 29 Mart 2017].
- [3] P. Ghosh, «Rotation and accretion powered pulsars,» World Scientific, p. 2, 2007.
- [4] «Chandra X-Ray Observatory,» [Çevrimiçi]. Available: <http://chandra.si.edu>. [Erişildi: 26 Mart 2017].
- [5] «HyperPhysics,» August 2000. [Çevrimiçi]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>. [Erişildi: 20 Mart 2017].
- [6] «Berkeley Lab,» 17 Aralık 2009. [Çevrimiçi]. Available: <http://www2.lbl.gov>. [Erişildi: 20 Mart 2017].
- [7] C. Waltham, «An Early History of Heavy Water,» University of British Columbia, Vancouver, 1998.
- [8] G.V. Dolbilov, «TWO BEAM PROTON ACCELERATOR FOR NEUTRON GENERATORS,» %1 içinde Proceedings of the 2001 Particle Accelerator Conference, Chicago, 2001.
- [9] C. S. D. W. G. Jennings, «Novel Compact Accelerator-Based Neutron and Gamma Sources for Future Detector Calibration,» Fairfield University, Fairfield, 2013.
- [10] International Atomic Energy Agency, «NEUTRON GENERATORS FOR ANALYTICAL PURPOSES,» International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
- [11] M. Crawford, «ASME,» Kasım 2014. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.asme.org/>. [Erişildi: Mart 2017].
- [12] «UW Radiation Oncology,» 2017. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.radonc.washington.edu>. [Erişildi: Mart 2017].
- [13] TAEK, «Türkiye Atom Enerjisi Kurumu,» 7 Aralık 2012. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.taek.gov.tr>. [Erişildi: Mart 2017].