



TORYUM VE HIZLANDIRICI SÜRÜMLÜ SİSTEMLER

Toryum ve Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler

Prof. Dr. Mehmet Atıf etiner

**Kastamonu Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü
(Emekli)**

Toryum ve Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler

İÇERİK

1. Giriş
2. Toryum
 - 2.1. Dünyada Toryum Rezervleri
 - 2.2. Türkiye ve Türk Dünyasında Toryum Rezervleri
3. Nükleer Yakıt Olarak Toryum
 - 3.1. Toryum kullanabilen geleneksel reaktör modelleri
 - 3.2. Ergimiş Tuz Reaktörleri (MSR)
 - 3.3. Hızlandırıcı Sürümlü Reaktörler (ADS)
 - 3.4. Dünyada ADS Çalışmaları
 - 3.5. Türkiye'de ADS Çalışmaları
4. Sonuç ve Öneriler

Toryum ve Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler

- Yirminci yüzyılda insanlık enerji ihtiyacını genel olarak fosil kaynaklarından karşılamıştır.
- Fosil yakıtların yol açtığı küresel ısınma ve çevre kirliliği nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelmek zorundayız.

Toryum ve Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler

- Bu açıdan 21.yüzyılda iki seçeneğimiz var:
 - Yenilenebilir enerji (güneş, rüzgar, vd ...)
 - Nükleer enerji.

Toryum ve Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler

- Son 60 yılda uranyumu temel alan nükleer reaktörlerin yapımında ve işletilmesinde önemli miktarda deneyim kazanılmıştır.
- Bu tecrübelerin ışığı altında, nükleer reaktörlerde şimdiye kadar meydana gelen problemleri en aza indirmek için gelişmiş ülkeler yeni teknolojilere ve alternatif yakıtlara yönelmektedir.
- Bu amaçla toryum temelli nükleer reaktör modelleri üzerine araştırma geliştirme faaliyetleri yoğun bir şekilde devam etmektedir.

TORYUM

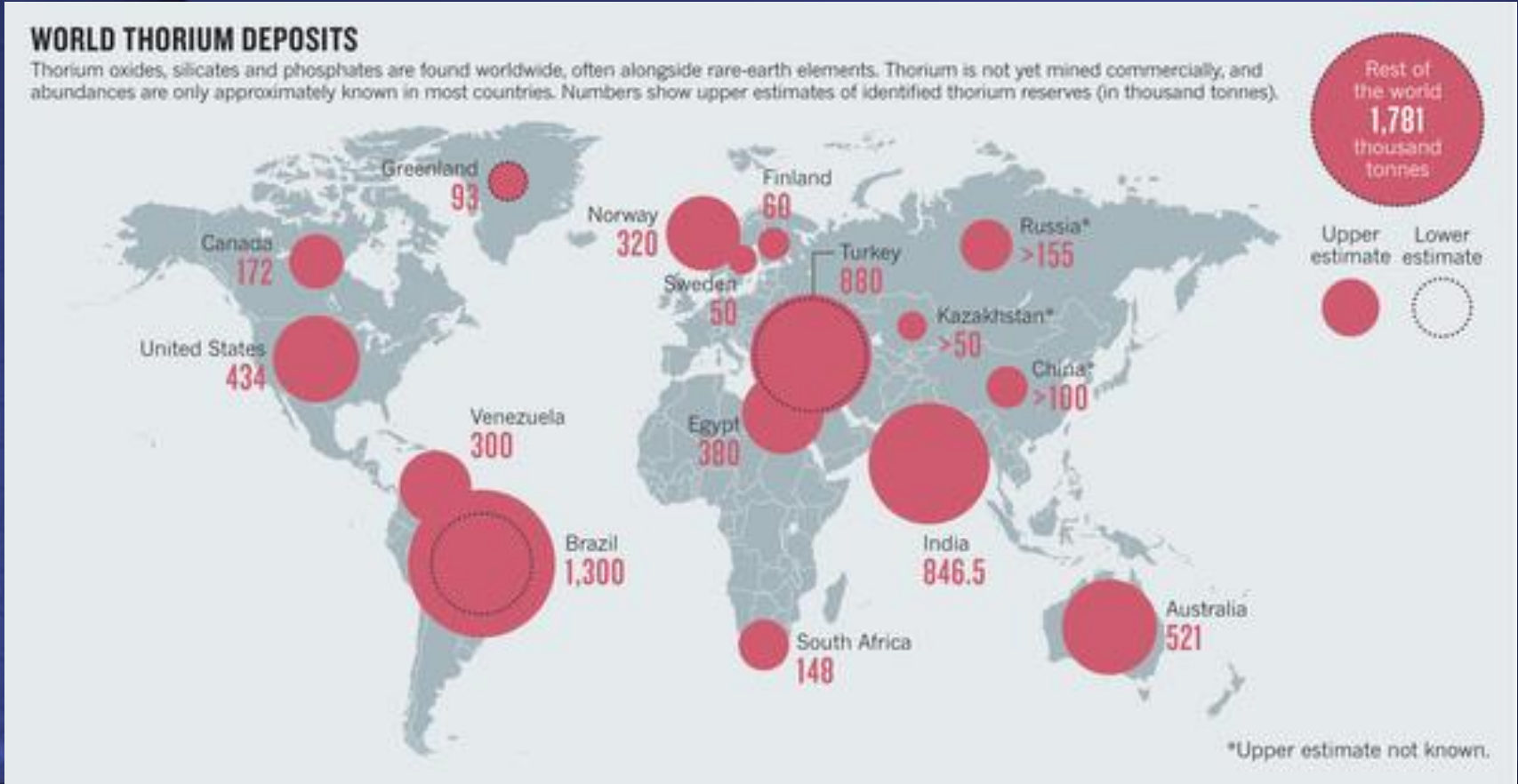
İklim değişikliğini önlemek için hazırlanan Paris Anlaşması, küresel ortalama sıcaklık artış limitinin 1,5 ila 2 derece arasında sınırlandırılması **sera gazları emisyonunun düşürülmesini** gerekli kılmaktadır.

Dolayısıyla enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil yakıtlarının kullanılması yerine yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji kullanımı ön plana çıkmaktadır.

^{235}U 'a dayalı nükleer reaktörler yerine yeni nükleer kaynaklara olan ihtiyacın bir sonucu olarak **TORYUM** yakıtlı nükleer teknolojiler gelişmektedir.

TORYUM

Dünyada toryum rezervi uranyuma kıyasla 3-4 kat daha fazla ve uzun ömürlü, daha az toksik, daha az atık hacmi bırakan ve atıklarının yarı ömrü uranyum atıklarına göre daha kısa olan bir nükleer yakıt olarak tanımlanıyor.



http://www.nature.com/nature/journal/v492/n7427/full/492031a.html?WT.mc_id=PIN_NPG

TORYUM

- **Türkiye’de yapılan araştırmalarda:**
- MTA 1979 yılında Eskişehir-Sivrihisar yöresinde nadir toprak elementlerinin yanı sıra ortalama tenörü % 0,2 ThO₂) 380.000 ton görünür rezerv tespit etmiştir (seçme örneklerde % 3,35'e çıkmaktadır.)
- Kayseri-Felahiye-Çukur emaresinde bazı örneklerde oranı %7'ye çıkan ThO₂ tespit edilmiştir.
- Bununla birlikte Isparta-Aksu’da da Toryum rezervleri bulunmuřtur; Malatya vb. bölgelerde de Toryum rezervleri bulunması muhtemeldir.

Toryum kullanabilen geleneksel reaktör modelleri

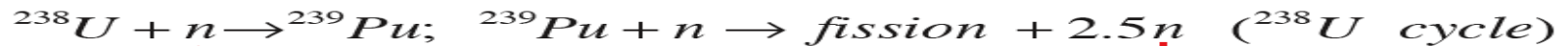
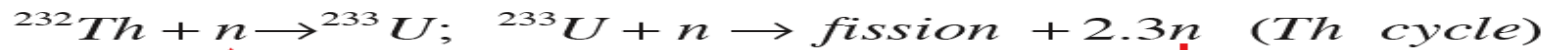
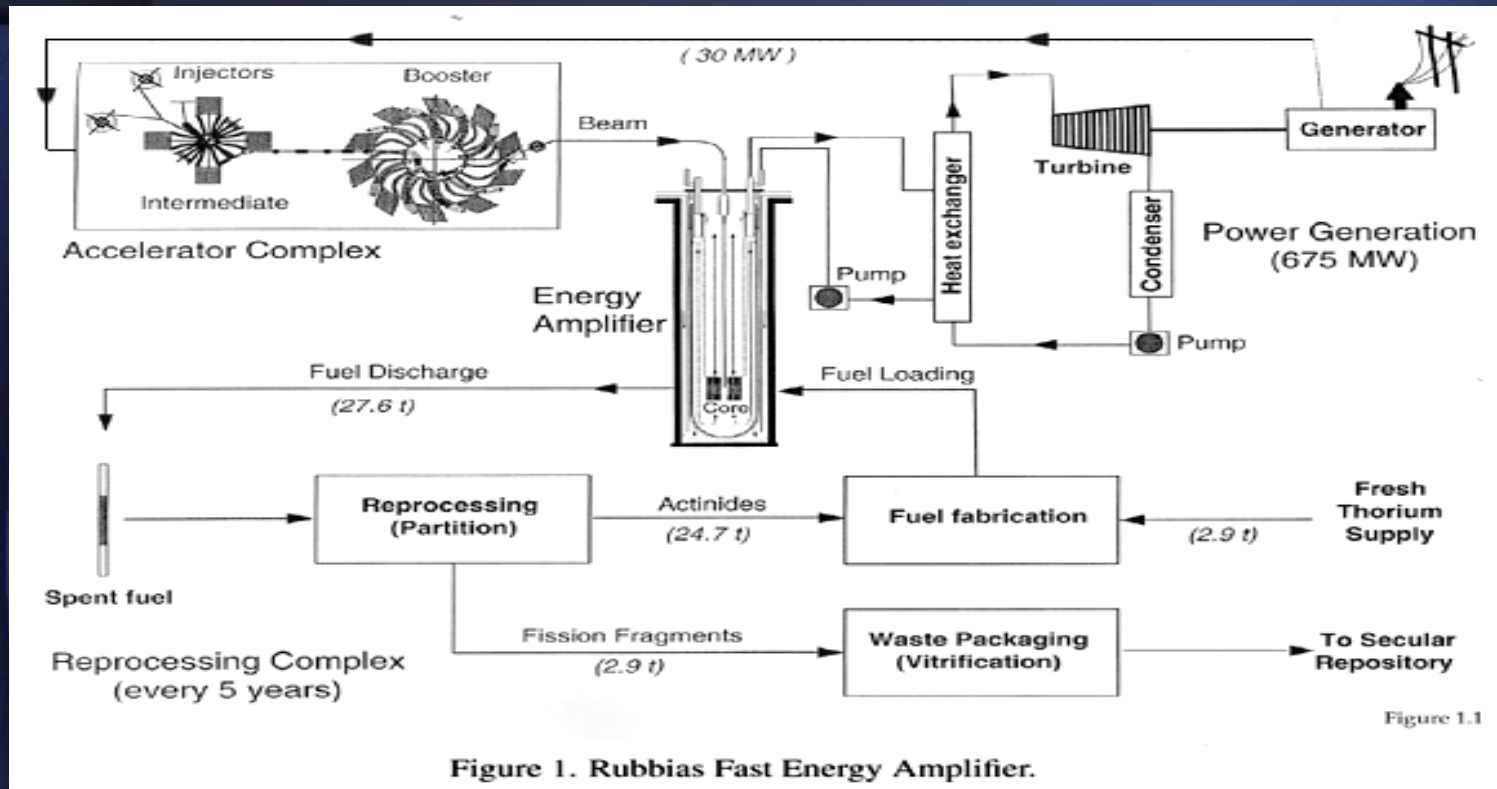
- **Ağır sulu Reaktörler (PHWR)**
- **Yüksek-sıcaklık Gaz soğutmalı Reaktörleri (HTR)**
- **Kaynar (Hafif) Sulu Reaktörleri (BWR)**
- **Basıncılı (Hafif) Su Reaktörleri (PWR)**
- **Hızlı Nötron Reaktörleri (FNR)**

Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (ADS)



- 1995 yılında Carlo Rubbia CERN'de toryumu yakıt olarak kullanacak Enerji Yükseltici fikrini ortaya attı.
- CERN/AT/95-44 ET, (1995)

Enerji Yükseltici



Toryumlu Reaktörlerin Avantajları ve Dezavantajları

Bir yılda 1 GW'lık kesintisiz güç üretmek için :



3,500,000 ton kömür

Çevre üzerinde önemli etki
(özellikle CO₂ yayılımı)

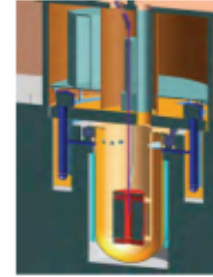


200 ton Uranyum

CO₂ etkisi düşük fakat
yeniden işleme zorluğu var

Zararlı atıkların çok
uzun süreli depolanması
problemi var

Nükleer silahların
yayılması problemi
var



1 ton Toryum

CO₂ etkisi düşük

Plutonyum ve radyoaktif
atıkların dönüşümü
yapılabilmektedir

Depolanan zararlı atıkların
miktarı ve yarıömürleri
daha azdır

Nükleer silahların
yayılması problemi
yoktur

Carlo Rubbia'nın "Alt-kritik Toryum reaktörleri"
isimli sunumundan alınmıştır.
(C.Rubbia2,Energy 2050, Stockholm)

Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler

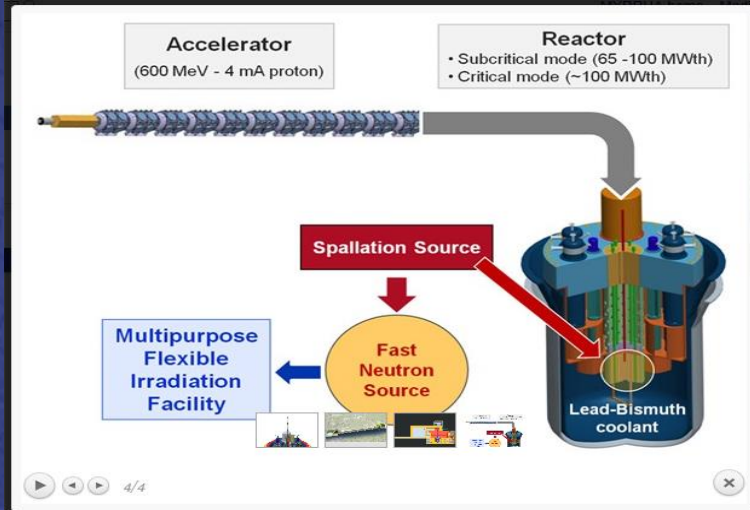
Dünyada ADS Çalışmaları	
Beyaz Rusya	İtalya
Belçika	Japonya
Çin	Güney Kore
Fransa	Hollanda
Almanya	Rusya
Hindistan	

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Beyaz Rusya** : ADS çalışmaları YALINA kritik-altı tesisinde yapılmaktadır. YALINA sıfır güçlü bir kritik-altı tesis olup burada hızlandırıcı sürümlü sistemin nötronik çalışmaları ve atık yakma reaksiyon hızları (Transmutation reaction rates) çalışılmaktadır.

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Belçika** : AB'nin desteklediği MYRRHA projesi çalışmaları yapılmaktadır. Bu proje çerçevesinde hızlandırıcı sürümlü Toryum yakıtlı ilk nükleer enerji reaktörünün 2027 yılında devreye alınması planlanmaktadır.



Dünyada ADS Çalışmaları

Çin : ADS kavramsal çalışması 1999'da tamamlanmıştır. ADS fiziği ve ilgili teknolojinin beş yıllık temel araştırma programı 2000 yılında başlatıldı. 2007'den itibaren, Nükleer Atık Dönüşümü için ADS Alt Kritik Sistemin Temel Teknoloji Araştırması başlatıldı.

- Reaktör gücü ~ 4MW ve proton LINAC 40MeV, 10mA olacak deneysel bir ADS inşa edilmesi planlanmıştır.
- 2022'de, Reaktör gücü 80 ~100MW ve LINAC ~ 600MeV, 10mA olan orta büyüklükte bir deneysel ADS inşa edilecek.
- 2032'de Reaktör gücü ~ 1000MW ve LINAC ~ 1.5GeV, 10mA olacak ADS Demo Tesisi inşa edilecek.

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Fransa** : ADS üzerine araştırmalar başlangıçta PACE (Physique pour l'Aval du Cycle Electronucléaire) programı, nükleer yakıt çevriminin geri dönüşümü fiziği ile ilgiliydi.
- 2006'da bu programa nükleer enerji üretimi de ilave edilerek PACEN (Physique pour l'Aval du Cycle et production d'Energie Nucléaire) programı kapsamında yürütölmektedir.
- CNRS, ADS üzerine çalışan FEAT, TARC, GENEPI, SCK • CEN, GUINEVERE ve MYRRHA uluslararası işbirliklerine katıldı.
- **CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique (Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi)**

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Almanya** : ADS geliştirmek için Alman Ar-Ge programı, kullanılmış yakıtın yakılması ve dönüştürülmesi ile ilgilidir.
- Bu program, esas olarak Helmholtz Derneğine bağlı üç ulusal araştırma merkezi (Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü (KIT), Forschungszentrum Jülich (FZJ) ve Aachen Teknik Üniversitesi (RWTH Aachen) ve Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR) ile işbirliği) tarafından uygulanmaktadır.

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Hindistan** : ADS geliştirme çabaları Hindistan Atom Enerjisi Bakanlığı (DAE) bünyesindeki ADS Programı (SC-ADSP) üzerine bir Yürütme Komitesi tarafından koordine edilmektedir.
- İlk olarak, proton hızlandırıcı, hedef ve malzeme testi döngüleri ve kritik altı kor düzenekleri gibi ADS segmentlerinin veya bunların bir kısmının anahtar teknoloji gösterimi için belirli tesisler inşa edilecektir.
- İkinci olarak konuyla ilgili çeşitli Ar-Ge merkezlerindeki uzmanlar dahil edilerek belirli ilgili teknoloji alanlarında yoğun Ar-Ge başlatılacaktır.
- 10-15 yıl sürecek bir ADS Ar-Ge araştırmalarının çıktılarının izlenmesini içeren bir yol haritası hazırlanmıştır.

Dünyada ADS Çalışmaları

- **İtalya** : 1999-2001 döneminde Ansado Nucleare liderliğindeki bir grup İtalyan kuruluşu tarafından, MURST himayesi altında küçük boyutlu (80 MWth) bir ADS'nin fizibilitesi için kurşun-bizmut ötektik soğutmalı deneysel ADS'nin (LBE-XADS) ilk konfigürasyonu gerçekleştirildi.
- **ADS programı 4 alana ayrılmıştır.**
- LP1. Yeni nükleer sistemler senaryosu, yenilikçi yakıt çevrimleri ve radyoaktif atıkları en aza indirme teknikleri üzerine çalışmalar;
- LP2. Evrimsel reaktörler INTD Uluslararası Kısa Vadeli Dağıtım.
- LP3. IV. Nesil reaktörler.
- LP4. Reaktörlerin pazarlanması.

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Japonya** : Nükleer atıkların ayrıştırma ve dönüştürme (P&T) teknolojisine ilişkin araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri 1988'den beri OMEGA programı kapsamında teşvik edilmektedir.
- Bu programda yer alan enstitüler:
- Japonya Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü (JAERI),
- Japonya Nükleer Çevrim Geliştirme Enstitüsü (JNC)
- Elektrik Enerjisi Endüstrisi Merkezi Araştırma Enstitüsü (CRIEPI)'dür.
- Bu enstitüler arasında JAERI ağırlıklı olarak ADS konusunda Ar-Ge'yi yürütmektedir.

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Güney Kore** : Kullanılmış yakıtlarda uzun ömürlü çekirdeklerin dönüşümü için Kore'nin ADS araştırması KAERI'de (Kore Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü) gerçekleştirildi.
- KAERI ADS sistemine HYPER (HYbrid Power Extraction Reactor) adı verilen ADS araştırması 3 aşamadan oluşuyor.
- Tasarım ve analiz
- Yakıt deneyi
- Pb-Bi deneyi

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Hollanda** : Hollanda'daki ADS ile ilgili faaliyetler NRG'de (Nuclear Research and consultancy Group)yoğunlaşmış ve NRG, 2000'den 2006'ya kadar MYRRHA'nın geliştirilmesinde SCK • CEN'i destekledi.
- AB FP6 EUROTRANS (EUROpean Research Programme for the TRANSmutation of High Level Nuclear Waste in an Accelerator Driven System) projesi kapsamında desteklenmektedir.
- Şu anda EU FP7 LEADER projesi kapsamında sürdürülmektedir.

Dünyada ADS Çalışmaları

- **Rusya** : Termal reaktörlerin işletilmesi nedeniyle oluşan uzun ömürlü radyoaktif atıkların yakılması ve minör aktinitler (MA) üzerine yapılan çalışmalar için bazı Rus araştırma enstitülerinde (ITEP, SSC RF - IPPE, VNIIEF, JINR, RSC KI, IYaI RAN, OKB 'GIDROPRESS', VNIITF vb.) ADS araştırmaları yapılmaktadır.

Dünyada Toryumlu Yakıt Peleti Çalışmaları

- **Norveç** : 170 000 ton Toryumu var. ThorEnergy toryumlu reaktörler için yakıt peleti geliştiriyorlar.



In preparation for the manufacture of Th-MOX pellets, these (Th,Ce)O₂ pellets were manufactured at IFE's labs at Kjeller outside Oslo.

Türkiye'de ADS Çalışmaları



Engin Arık

Hürriyet Gazetesi, Pazar. 27 Temmuz 2002

Büyük bir servetin üzerinde oturuyoruz, küçük bir bilimsel yatırımla toryumla enerji üretme alanının dünya devleri arasına girebiliriz

Bildiğim kadarıyla, toryum'un 21. yüzyılın en stratejik maddesi olması büyük bir olasılık. Eğer 2005 yılına kadar yapılması planlanan yeni tip nükleer enerji santralleri gerçekleşirse, toryum bir numaralı element olacak. Çünkü yeni tip reaktörlerde yakıt olarak kullanılacak. Eğer biz toryum ile elektrik enerjisi üretebilmek olanağına kavuşursak, bu trilyonlarca varil petrole eş değerde bir enerji kaynağı olacak.

Türkiye'de ADS Çalışmaları

- **Haziran 1997:** Profesör Rubbia CERN'de başlattığı çalışmalarla ilgili dokümanları Türk fizikçilerine iletti.
-
- **Ekim 2001:** 1.Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi yapıldı.
- **2002-2005:** Gazi ve Ankara üniversitelerinde yürütülen DPT destekli "Türk Hızlandırıcı Kompleksinin Genel Tasarımı"

Türkiye'de ADS Çalışmaları

- **Ocak 2003:** Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde “Toryum Yakıtlı Nükleer Teknolojiler” Çalıştayı düzenlendi.
- **Şubat 2003:** 9.Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulunda “Toryumun Enerji Kaynağı Olarak Potansiyelinin Araştırılması” başlıklı karar alındı.
- **2006-2009:** Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde 10 Türk üniversitesi katılımıyla yürütölen DPT destekli “Türk Hızlandırıcı Kompleksinin Teknik Tasarımı”

Türkiye’de ADS Çalışmaları

- **2012:** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığında Toryum Çalışma Grubu oluşturuldu. Ardından Antalya’da “Toryum Yakıtlı Nükleer Teknolojiler” başlıklı ikinci Çalıştay düzenlendi.
- **Ekim 2013:** 5 kişilik Türk heyeti CERN’de düzenlenen “Thorium Energy for the World” başlıklı 13.Uluslararası Toryum Enerji Konferansına katıldı. Bu konferansta Türk bilim insanları 3 bildiri sundu...

Toryum yol haritası

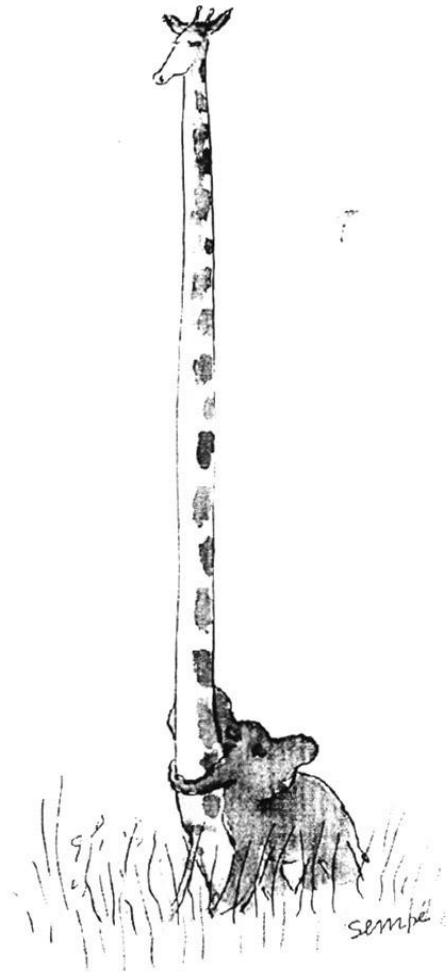
- Türk Dünyası Toryum yol haritası
- Ulusal Programlar çerçevesinde:
 1. Toryum rezervlerinin belirlenmesine yönelik sistemli çalışmalar en kısa zamanda başlatılmalıdır,
 2. Toryumun madenden çıkarılması ve yakıt elemanı haline getirilmesi için gerekli araştırmalar yapılmalıdır,

Toryum yol haritası

- 3. Toryumlu reaktör modelleri incelenmeli ve modeller üzerine araştırma yapan ülkeler ile işbirlikleri geliştirilmelidir (MYRRHA projesi başta olmakla),
- 4. Toryumlu reaktörler konusunda üniversitelerin projeler yapması teşvik edilmeli, lisansüstü eğitim ve araştırma faaliyetleri desteklemelidir,

Toryum yol haritası

- 5. BTYK kararlarının öngördüğü **“Toryum Mükemmeliyet Merkezi ve GeV enerjili proton hızlandırıcısının”** kurulma çalışmalarına hız verilmelidir.



*Le couplage d'un accélérateur et d'un réacteur nucléaire :
un accouplement contre nature ou l'avenir
de l'énergie nucléaire ?*

*The coupling of an
accelerator and of a
nuclear reactor:
a mating against nature
or the future of the
nuclear energy ?*

Carlo Rubbia

Teşekkür ederim.