

Uranyum-Toryum Ergimiş Tuz Reaktörü elli yıl önce test edilip kanıtlandı. Neden durduruldu ve bir daha başlatılmadı?

Parth Patel (M.Tech Nükleer Mühendislik, Pandit Deendayal Enerji Üniversitesi, Gandhinagar, 2015) ve **Orhun Kahraman** (M.Sc Nükleer Mühendislik, Université Paris-Saclay / 1/Quora yayını. **TARTIŞMAYA AÇIK ELEŞTİREL BİR YAZI**

Hazırlayan: Yüksel Atakan, Dr. Radyasyon Fizikçisi, ybatakan4@gmail.com, 04.08.2025

İnternette toryumla çalışan nükleer reaktörler hakkında birçok yanlış bilgi dolaşiyor. Özellikle şuna benzer yaygın bir anlatı var:

1. Toryumlu **ergimiş tuz** reaktörleri 50 yıl önce test edilip başarılı oldu.
2. Toryum reaktörleri, uranyum reaktörlerinin aksine, nükleer silah yapımında kullanılamaz.
3. ABD ve Sovyet hükümetleri, toryum reaktörlerini sırf silah yapılamadığı için reddetti.

Bu açıklamaların her biri ya yanlış ya da en azından çok yanıltıcı. Yakından bakalım.

Reaktör Tasarımı

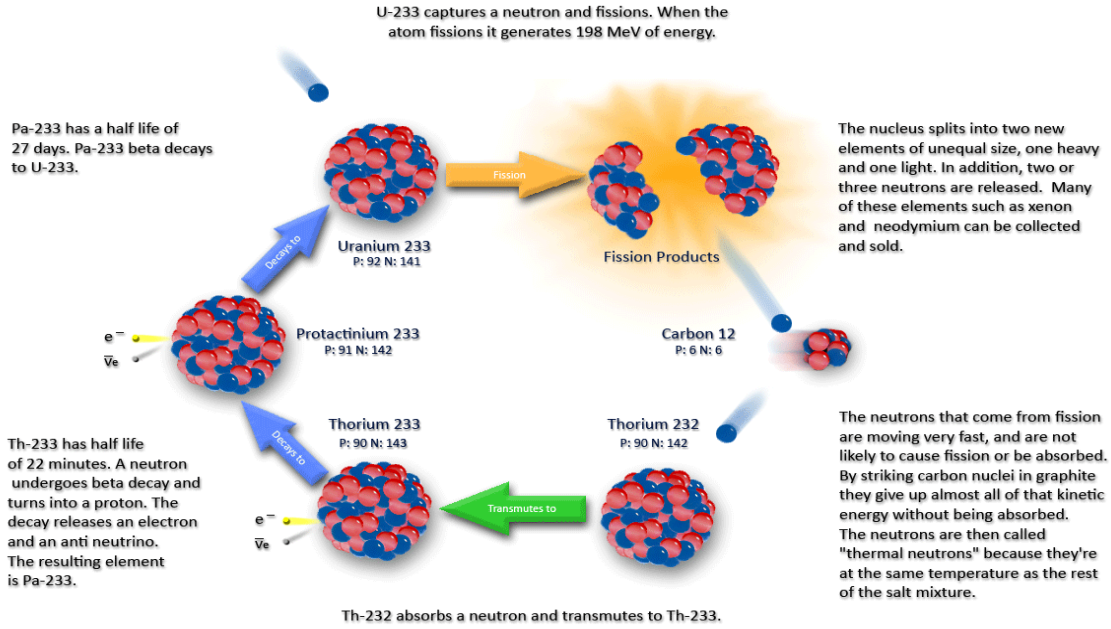
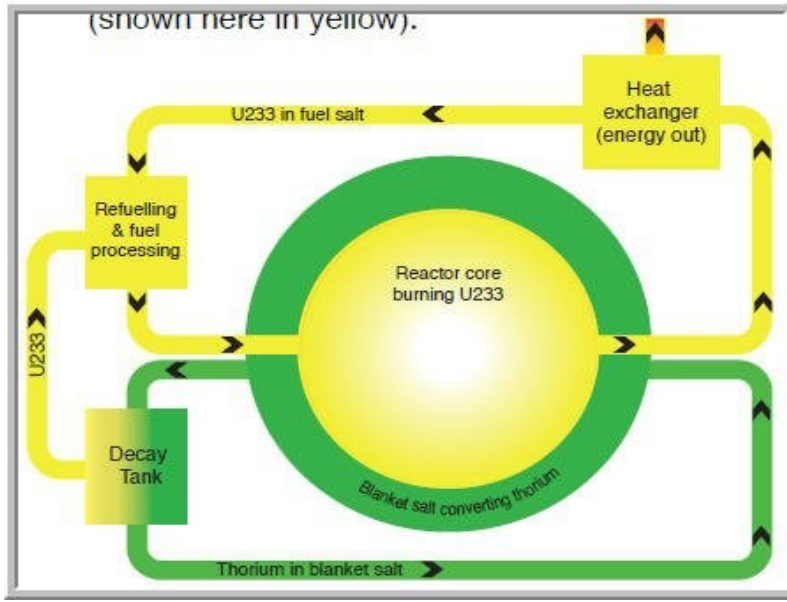
Öncelikle, uranyum-toryum **ergimiş tuz** reaktörü (bu yazıda bundan sonra: **MSR**) nasıl çalışır?

Reaktörün çekirdeğinde, uranyum-233 (genellikle uranyum tetraflorürün diğer florür bileşikler içinde çözünmüş hali) hafif elementlere bölünerek enerji üretir. Nötronlar uranyum-233 çekirdeğine çarptığında, çekirdek bölünür, enerji açığa çıkar ve zincirleme reaksiyonu sürdürecektir 2-3 yeni nötron salınır.

Bu nötronlardan bazıları, çekirdeği çevreleyen toryum-232 içeren **ergimiş tuz** tabakasına çarpar. Bu süreçte toryum-232, toryum-233'e (yarı ömür: 22 dakika) dönüşür ve ardından protaktinyum-233 (yarı ömür: 27 gün) ile bozunarak uranyum-233 oluşturur. Böylece yeni yakıt üretilir ve reaktör çekirdeğine beslenerek enerji üretimi sürdürülür.

Kağıt üzerinde bu fikir basit görünüyor. Ancak nükleer mühendislikteki çoğu şey gibi, pratikte uygulanması "basit" olmaktan çok uzak. Gerçekte, diyagramdaki "yakıt işleme" kısmı, aslında tam teşekküllü bir kimya tesisine dönüşür. "Bozunma tankı", haftalarca tehlikeli radyoaktif maddeleri depolayabilen sağlam bir koruma kabı olmalıdır. Ayrıca, sistem onlarca yıl kesintisiz çalışabilmelidir çünkü **ergimiş yakıt** donarsa reaktörü yeniden başlatmak zordur.

Küçük bir tasarım sorununun nasıl büyük bir soruna dönüşebileceğini göstermek için tuz seçimini ele alalım. Çoğu MSR tasarımı florür tuzları kullanır; bunlar yüksek sıcaklıkta ergiyen ve borulara aşırı derecede aşındırıcı etki yapan tehlikeli maddelerdir. Bu ciddi bir sorundur çünkü fazla aşınma, reaktör çekirdeğinden sızıntıya yol açabilir. Alternatifler ise daha kötüdür: ya daha yüksek ergime noktasına sahiptirler ya da yakıt döngüsünü bozan başka elementler içerirler.



Bradley Nielsen 2010

Örnek: Basitçe, klorür tuzlarının kullanılabileceği düşünülebilir çünkü üretimi kolaydır ve ergime noktaları nispeten düşüktür. Ancak doğal klor, nötronları emerek reaktör verimini düşürür ve yakıt döngüsünü bozabilir. Klorür temelli reaktörler üzerine araştırmalar olsa da, bu dezavantajlar bilim insanlarını bu fikirden uzaklaştırmıştır.

Bir diğer sorun da yakıt karışımına eklenen diğer tuzların seçimidir. Uranyum tetraflorür tek başına kullanılamaz çünkü ergime noktası çok yüksektir. Bu yüzden onu başka bir **ergimiş tuz** içinde çözmek gerekir. Uygun bir çözücü bulmak kolay değildir; nötron emilimine yol açmayan, hafif elementlerden oluşan bileşikler gerekir. İdeal olarak, çözücü aynı zamanda nötron yavaşlatıcı (moderatör) görevi görmelidir. Fisyon (atom çekirdeği bölünme)

reaksiyonları yüksek enerjili nötronlar üretir ve bunlar diğer çekirdeklerle etkileşime girmek yerine uzaklaşabilir. Bu yüzden MSR'lerin nötronları yavaşlatacak bir moderatöre ihtiyacı vardır. Birçok reaktör su kullanır, ancak MSR'lerde su kaynayacağı için uygun değildir. Grafit daha iyi bir seçenektir (1960'lardaki **Molten Salt Reactor Experiment**'te kullanılmıştır), ancak sıvı değildir ve sıcaklık kontrolünü zorlaştırır.

Bu nedenlerle, MSR tasarımcıları genellikle lityum ve berilyum florürleri **ergimiş tuz** karışımına ekler. Flor, lityum-7 ve özellikle berilyum iyi moderatörlerdir ve FLiBe adı verilen bir ötektik karışım oluştururlar. Ancak berilyum florür insanlar için oldukça zehirlidir. Bu sorunlar aşılamaz değildir. Aşındırıcı maddelerle başa çıkmanın yolları vardır (doğru boru alaşımı seçilirse sorun büyük ölçüde çözülür) ve berilyum sıkı şekilde muhafaza edilebilir. Nitekim 1968'de ünlü nükleer fizikçi Glenn Seaborg, Atom Enerjisi Komisyonu'na toryum temelli bir reaktörün başarıyla geliştirildiğini ve test edildiğini açıkladı.

Bilimsel açıdan haklıydı. Ancak mühendisler bilir ki, iyi bir prototip ile güvenli bir ticari ürün arasında devasa bir çalışma vardır. Borular ve koruma kapları, onlarca yıl boyunca sıcak, aşındırıcı ve radyoaktif **ergimiş tuzlara** dayanacak şekilde mükemmel çalışmalıdır. Bu koşullarda test edilmemiş malzemeler kullanılacaktır. Herhangi bir şey ters giderse (tam bir nükleer ergime olmasa bile), sonuç radyoaktif ve zehirli maddelerin sızması olacaktır.

Bir nükleer mühendis olsaydınız, böyle bir tasarıma onay vermek ister miydiniz?

Nükleer Silah Yayılımı

Belki de uranyum-toryum MSR'lerin avantajları risklerinden ağır basıyordur. Mevcut reaktör tasarımları da risksiz değildir, ancak dünyada yüzlerce nükleer reaktör güvenle çalışmaktadır.

Eğer nükleer silah yapımında kullanılamayan bir reaktör tasarlanabilseydi, AR-GE çabaları kesinlikle buna değerdi.

Ne yazık ki, uranyum-toryum MSR'ler bu avantaja sahip değil. Silah malzemesi üretmede normal uranyum reaktörlerinden biraz daha verimsiz olsalar da, yine de nükleer silah yapımında kullanılabilirler.

Toryum savunucuları, toryum yakıt döngüsünün nükleer silahlara uygun olmadığını savunuyor çünkü toryum-232, nötron yakaladığında bazen uranyum-233 yerine uranyum-232'ye dönüşebilir. Uranyum-232, yüksek enerjili gama ışınları yayar ve bu da hem çalışanlar hem de elektronik sistemler için zararlıdır. Ayrıca, uranyum-232'yi uranyum-233'ten ayırmak çok zordur. Bu sorunun üstesinden gelmenin yolları olsa da, bu cevapta uranyum-232 varlığında nükleer bomba yapmanın imkansız olduğunu kabul edelim.

Ancak sorun şu: U-232 üretmekten tamamen kaçınmak mümkün. Toryum yakıt döngüsünde U-233, 27,4 gün yarı ömürlü Pa-233'ten oluşur. **Dolayısıyla, protaktinyumu toryum tabakasından (kimyasal yöntemlerle nispeten kolay ayrıştırılabilir) çıkarıp U-233'e bozunmaya bırakırsanız, saf silah sınıfı malzeme elde edersiniz.**

İnanmıyor musunuz? ABD, SSCB ve Hindistan, bu yöntemle U-233 üretmiş ve Hindistan (Shakti V) sadece toryumdan üretilen U-233 ile nükleer bomba yapmıştır.

Toryum savunucuları, ABD'nin MSR'leri sırf silah yapılamadığı için reddettiğini iddia ediyor.

Biraz eleştirel düşünün: Eğer ABD'nin nükleer silah yapımına uygun olmayan bir reaktör

tasarımı olsaydı, bunu gizlemez, ticarileştirmek için koşardık! Hükümet bu teknolojiyi sübvans eder ve nükleer yayılma endişesi olmadan ihraç ederdi. Bu hikaye, ABD'nin çıkarlarıyla açıkça çelişiyor.

ABD hükümetinin toryum reaktörlerini reddetme gerekçesi çok daha mantıklıdır:

"MSBR [ergimiş tuz üretken reaktörü] merkezi enerji santrali uygulaması düşünüldüğünde, bu konseptin benzersiz ve çekici özellikleri olduğu görülmektedir; ancak aynı zamanda, sıvı yakıtlı reaktörlere özgü karmaşık teknolojik ve mühendislik sorunları vardır ve bu sorunlar için henüz çözüm geliştirilmemiştir."

Diğer Yanlış Açıklamalar

1. **"Uranyum tükenecek, bu yüzden toryum reaktörlerine ihtiyacımız var."**

Hayır. Uranyum azalırse fiyatı artar ve deniz suyundan uranyum çıkarmak ekonomik hale gelir. Uranyum maliyeti, bir reaktörün işletme maliyetinin çok küçük bir kısmını oluşturur.

2. **"Toryum MSR'leri daha az radyoaktif atık üretir."**

Bu da yanıltıcıdır çünkü:

- Uzun ömürlü atıkları neredeyse tamamen yok eden uranyum reaktörleri de tasarlanabilir (ekonomik olmadığı için yapılmıyor).
- MSR'lerde kullanılan berilyum, flor gibi diğer zehirli maddeler göz ardı ediliyor.

Sonuç

Uranyum-toryum MSR'leri, politik veya askeri komplolar yüzünden değil, geçerli teknik nedenlerle reddedilmiştir. Bu engeller aşılabılır olsa da, MSR'lerin avantajları savunucuların açıkladıkları kadar çok değildir. Bu yüzden 1970'lerde MSR geliştirmeye değmezdi ve bugün de muhtemelen değmez.

Not: Bu cevap genel olarak olumlu karşılandı, ancak bazı itirazlar da aldı. Öne çıkan eleştiriler şunlardır:

- Jeff Barry, MSRE'de grafit moderatör kullanıldığını doğru bir şekilde belirtti.
- Moltex gibi şirketler klorür temelli MSR'ler üzerinde çalışıyor, ancak bu yaklaşımın maliyeti belirsiz.
- MSR'ler patlayamaz çünkü atmosferik basınçta çalışır, ancak malzeme sorunları çözülmelidir.

Sonuç olarak, yazdıklarımın arkasındayım, ancak tartışmaya katkıda bulunan herkese teşekkür ederim.

[1] Kaynak: [Energy from Thorium Report \(WASH-1222\)](#) Quora