# 120. Elementin Keşfi İçin Önemli Bir Eşik Başarıyla Geçildi

Dr. Tuba Sarıgül [ *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

**Berkeley'deki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarından bilim insanları atom numarası 120 olan elementin sentezlenmesine imkân verebilecek yeni yöntemi başarıyla test etti. 120. elementin sentezlenmesine yönelik deneysel çalışmaların ise 2025'te başlayabileceği ve ilk 120. element atomlarının elde edilmesinin 2-3 yıl sürebileceği öngörülüyor.**

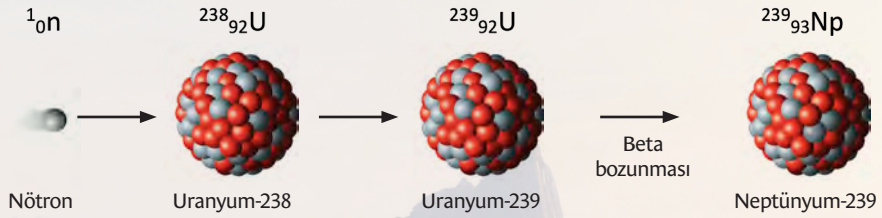
118
120

Bugüne kadar keşfedilmiş en yüksek atom numaralı element olan oganesson, 2002 yılında ilk defa sentezlenmiş ve 2015 yılının aralık ayında Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) tarafından onaylanarak periyodik tabloya eklenmişti. 118. elementin keşfiyle periyodik tablonun yedinci periyodu tamamlanmış oldu. Bu tarihten beri ise yeni bir element keşfedilemedi.

Berkeley'deki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarından bilim insanları ise yakın zamanda atom numarası 120 olan elementin sentezlenmesine imkân verebilecek yeni yöntem ile ilgili önemli bir aşamayı başarıyla geçti. Araştırmacılar, aşırı ağır elementlerin sentezlenmesinde kullanılabileceğini düşündükleri yeni yöntem sayesinde atom numarası 116 olan livermoryum elementini sentezledi.

Yeni elementlerin sentezlenmesine yönelik çalışmalar, 1930'lu yıllarda başladı. Bu tarihten önce bilinen en ağır element, atom numarası 92 olan uranyumdu. 1934 yılında İtalyan Fizikçi Enrico Fermi, uranyum gibi ağır elementleri nötronlarla bombardıman ederek atom numarası uranyumdan daha büyük elementler elde edebileceğini düşündü. 1938 yılında Alman Kimyagerler Otto Hahn ve Fritz Strassmann, uranyum çekirdeklerinin nötronlarla çarpıştırılması sonucu oluşan parçacıklar arasında baryum çekirdekleri bulunduğunu belirledi. Bu, araştırmacılar için beklenmedik bir sonuçtu. Çünkü nötronlarla çarpışan uranyum çekirdeklerinin, yaklaşık olarak aynı büyüklükte iki atom çekirdeğine parçalandığı anlamına geliyordu. Hahn ve Strassmann'ın bu sonuçlarını inceleyen Avusturyalı Fizikçi Lise Meitner, nötronlarla çarpıştırılan ağır atom çekirdeklerinin büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasına neden olarak parçalandığını önerdi ve bu süreci "nükleer fisyon" olarak isimlendirdi. 1940 yılında ise Rus Fizikçiler Georgy Flyorov ve Konstantin Petrzhak, uranyum çekirdeğinin, parçalanmasına neden olabilecek herhangi bir dış etki olmadan da fisyona uğrayabildiğini keşfetti. Bu süreç ise "kendiliğinden fisyon" olarak adlandırıldı.

**Atom numarası uranyumdan daha büyük yapay elementlerin sentezlenmesi**




Bu sırada parçacık hızlandırıcılarda uranyumdan daha ağır elementlerin elde edilmesine yönelik araştırmalar devam etti ve 1939 yılında Berkeley Radyasyon Laboratuvarı araştırmacılarından Edwin Mcmillan, uranyum çekirdeklerini nötronlarla çarpıştırdığında, yarı ömrü 2,3 gün olan bir parçacığa dair bulgular elde etti. Kimyasal özellikleri, bilinen diğer elementlerden farklı olan bu parçacığın, atom numarası 93 olan yeni bir elemente ait olduğunu gösteren Edwin Mcmillan ve ABD'li Fiziksel Kimyacı Philip H. Abelson, daha sonra neptünyum olarak isimlendirilen elementin keşfine

Science History Images / Alamy

1952 yılında gerçekleştirilen hidrojen bombası testi

yönelik sonuçlarını 1940 yılında *Physical Review* dergisinde yayımladı.

Uranyumun kütle numarası 238 olan izotopları (uranyum-238) nötronlarla bombardıman edildiğinde bazı uranyum çekirdekleri nötronları soğuruyor ve uranyumun daha kararsız bir izotopu olan uranyum-239 çekirdeklerini oluşturuyordu. Yarı ömrü 23,5 dakika olan $^{239}U$ çekirdeklerindeki bir nötron ise "beta bozunması" olarak isimlendirilen bir süreç sonucu protona dönüşerek atom numarası 93 olan neptünyum çekirdeklerini oluşturuyordu. Keşfedilen uranyum ötesi elementlerin ilki olan neptünyumun yarı ömrü 2,3 gündü.

Atom numarası 94-98 arası olan elementler, o zamana kadar keşfedilen ağır elementlerin nötronlar, hidrojen ya da helyum iyonları ile çarpıştırılmaları sonucu elde edildi.

99. ve 100. elementler ise 1952 yılında gerçekleştirilen hidrojen bombası testleri sırasında oluşan kalıntılarda tespit edildi. Daha sonra aynştaynyum ve fermiyum olarak isimlendirilen bu elementler, uranyum-238 izotopunun çok sayıda nötron yakalaması sonucu oluştu.

Atom numarası daha yüksek elementlerin elde edilebilmesi için ise farklı yöntemler kullanılması gerekiyordu. Bu amaçla, hidrojen ve helyumdan daha ağır iyonların hızlandırılarak, hedefteki ağır elementlerle çarpıştırılması sonucunda iki çekirdeğin füzyon tepkimesi ile daha ağır elementleri oluşturabileceği düşünüldü. Ancak bu yöntemin hayata geçebilmesi için daha ağır iyonları hızlandırabilecek güçte parçacık hızlandırıcılara ihtiyaç vardı.

## Aşırı Ağır Elementler Nedir?

Aşırı ağır elementler, atom numarası 103'ün üzerinde olan elementlerdir ve dünya üzerinde doğal olarak bulunmaz. Ancak parçacık hızlandırıcılarda çarpıştırılan iki farklı atom çekirdeğinin nükleer füzyon tepkimeleri sonucu birleşmesi ile yapay olarak elde edilebilir. Laboratuvarlarda üretilen aşırı ağır elementler, kararlı değildir ve çok kısa sürede fisyon tepkimeleri sonucu parçalanır.

Aşırı ağır elementlerin sentezlenmesine ve keşfedilmesine yönelik araştırmalar, dünya genelinde birkaç merkezde yürütülüyor: ABD'deki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı, Rusya'daki Dubna Nükleer Araştırmalar Enstitüsü, Japonya'daki RIKEN Enstitüsü ve Almanya'daki GSI Helmholtz Ağır İyon Araştırmaları Merkezi.

Rusya'daki Dubna Nükleer Araştırmalar Enstitüsünde ve ABD'deki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarında bu özellikte hızlandırıcıların geliştirilmesiyle atom numarası 102-106 arasındaki elementler, karbon ve neon gibi daha ağır iyonların, periyodik tablodaki aktinit elementleri ile çarpıştırılması sonucu elde edildi. Örneğin atom numarası 102 olan nobelyum, atom numarası 6 olan karbon iyonlarının atom numarası 96 olan küriyum çekirdekleri ile çarpıştırılması sonucu keşfedildi. Ancak atom numarası 106'dan büyük elementlerin elde edilmesinde bu yöntem, uygulanabilir değildi. Çünkü çarpışma, sonuçta oluşan yeni çekirdeğin uyarılmış hâlde bulunmasına neden oluyordu. Uyarılmış hâldeki çekirdekler ise çok kısa sürede kendiliğinden fisyon sonucu parçalanıyordu.

Atom numarası 107-112 arasında olan elementler kurşun (Pb) ve bizmut (Bi) çekirdeklerinin, kütle numarası 40'ın üzerinde olan krom, manganez ve nikel gibi elementler ile çarpıştırılması ile elde edildi. Atom numarası 114-118 arasındaki elementlerin hepsi ise atom numarası 98'e kadar olan aktinit elementlerin kalsiyum-48 (çekirdeğinde 20 proton ve 28 nötron bulunur) iyonlarıyla bombardıman edilmesi sonucu sentezlendi.

# Aşırı Ağır Elementler Nasıl Sentezleniyor?

Aşırı ağır elementlerin elde edilmesinde kullanılan yöntem, basitçe, çarpıştırılan iki farklı atomun kaynaşarak daha büyük bir atom oluşturması şeklinde açıklanabilir. Ancak bu, farklı faktörlerin etki ettiği son derece karmaşık bir süreçtir.

Atom çekirdeği, artı yüklü protonlardan ve yüksüz nötronlardan oluşur. Artı yüklü protonların arasındaki elektrostatik itme kuvvetleri, çarpıştırılan atom çekirdeklerinin birbirine yaklaşmasını zorlaştırır. Evrendeki dört temel etkileşimden biri olan güçlü nükleer kuvvet ise protonları ve nötronları oluşturan kuarkların bir arada kalmasını sağlayan kuvvettir. Eğer iki atom çekirdeği, aralarındaki elektrostatik itme kuvvetini yenebilecek kadar güçlü bir şekilde çarpışırsa güçlü nükleer kuvvetin etkisiyle kaynaşarak tek bir atom çekirdeği oluşturabilir.

Bu süreçte atom numarası büyük bir hedef elementin üzerine, başka bir elementin iyonlarından oluşan bir parçacık demeti gönderilir. İyon demetinin hızı, ışık hızının %10'u kadardır. Dolayısıyla bu süreç, parçacık hızlandırıcılarda gerçekleştirilir.

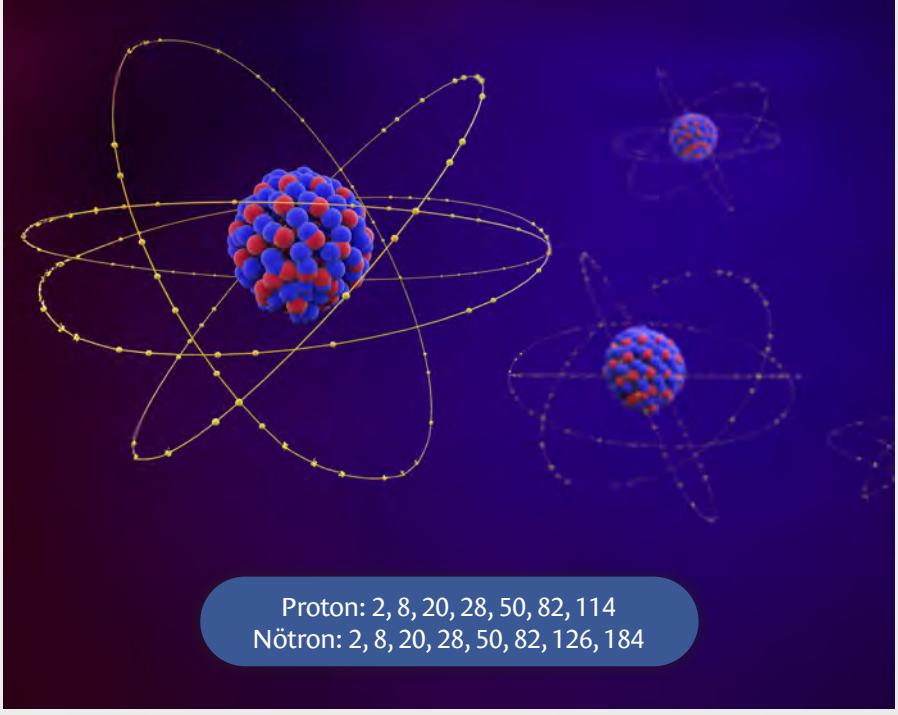
## Aşırı Ağır Elementlerin Kararlılığı

Dünya üzerinde doğal olarak bulunan en ağır element, atom numarası 92 olan uranyumdur. Atom numarası daha büyük olan elementlerin kararlılıkları, çoğunlukla, atom numarası arttıkça hızla düşer. Çünkü çekirdek büyüdükçe elektrostatik itme kuvveti güçlü nükleer kuvvetin çekim etkisine baskın gelmeye başlar ve belirli bir büyüklükten sonra çekirdek fisyona uğrayarak daha küçük çekirdeklere parçalanabilir.

Çekirdeğin özelliklerini açıklamada kullanılan en eski modellerden biri olan "sıvı damla modeli"ne göre atom numarası 100'den büyük elementlerin yarı ömrünün, çekirdeğin oluşması için ihtiyaç duyulan süreden kısa olduğu, yani bu çekirdeklerin var olmak için yeterli süre kararlı olamayacakları öngörülüyordu. Ancak 1962 yılında Dubna Nükleer Araştırmalar Enstitüsünden araştırmacılar, uranyum ötesi elementlerin, yarı ömrü sıvı damla modeliyle tahmin edilenden farklı olan bazı izotoplarını keşfetti. O dönemde ayrıca belirli sayıda proton ve nötrona sahip (sihirli sayı olarak isimlendirilir) çekirdeklerin daha kararlı olduğu biliniyordu. Bu bilgilerden elementlerin kararlılığının çekirdeğin iç yapısıyla, yani protonların ve nötronların çekirdekte nasıl düzenlendiği ile ilişkili olabileceği düşünüldü.

"Çekirdek kabuk modeli" olarak isimlendirilen bu kurama göre proton ve nötron kabukları tam dolu olan çekirdekler, sıvı damla modeli ile tahmin edilenden daha kararlıdır. Bu durum, elektron kabukları tam dolu olan soy gazların kararlılıklarının yüksek olmasına benzetilebilir.

**Protonlar ve Nötronlar İçin Sihirli Sayılar**




Oselote / iStock

Ayrıca bu yöntemde hızlandırılan iyonun enerjisinin doğru şekilde ayarlanması çok önemlidir. Hedefteki ağır elementlere gönderilen hızlandırılmış iyonların enerjisi yeterince büyük değilse artı yüklü protonlar arasındaki elektrostatik itme kuvvetinin yenilerek çekirdeklerin birleşmesi mümkün olamaz. İyonların enerjisinin çok yüksek olması ise hedefteki ağır çekirdeğin parçalanmasına sebep olabilir.

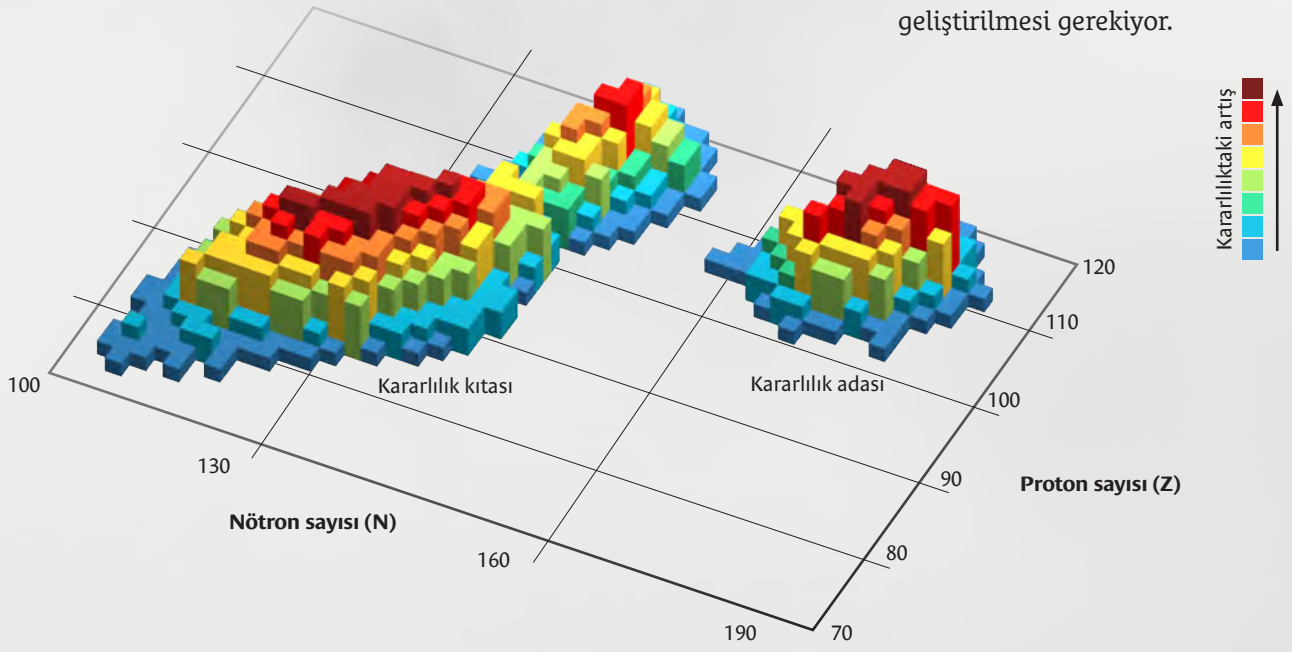
Oluşan yeni elementler çoğunlukla son derece kararsızdır ve hızlı bir şekilde parçalanır.

Hem proton kabuklarının tam dolu olmasını sağlayacak sayıda proton hem de nötron kabuklarının tam dolu olmasını sağlayacak sayıda nötron içeren çekirdekler "çifte sihirli çekirdek" olarak isimlendirilir. Örneğin 82 protona ve 126 nötrona sahip olan kurşun-208 izotopu, çifte sihirli bir çekirdektir ve aşırı ağır elementlerin sentezlenmesinde hedef atom olarak kullanılan çekirdeklerden biridir.

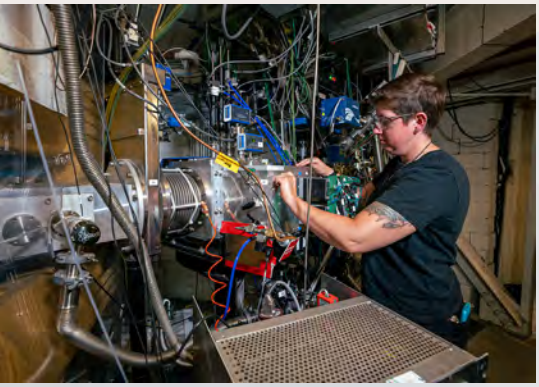
Periyodik tabloda bilinen elementlerin ötesinde, kararlılığı yeterince yüksek olan aşırı ağır elementlerin sahip olabileceği proton ve nötron sayılarını gösteren bölge, "kararlılık adası" olarak isimlendiriliyor. Nükleer fizikçiler, kararlılığı yüksek aşırı ağır elementler sentezleyebilmek için kuramsal hesaplamalar yoluyla sihirli sayıda proton ve nötrona sahip çekirdekler ile ilgili tahminler yapmaya çalışıyor. Bu amaçla, çekirdeğin kütlesini ölçerek kararlılığı ve iç yapısı hakkında bilgi sahibi olabiliyor. Bu bilgiler ise yeni elementlerin keşfedilmesine yönelik araştırmalarda bilim insanlarına yardımcı oluyor.

Kararlılık adası verileri, aşırı ağır elementlerin nötron sayısı açısından zengin çekirdekler olması gerektiğini gösteriyor. Bu nedenle atom numarası 114 ve üzeri olan aşırı ağır elementler, kalsiyumun nötron açısından zengin bir izotopu olan kalsiyum-48 iyonlarının (doğada en bol bulunan kalsiyum-40 izotopuna kıyasla fazladan 8 nötron içerir) hızlandırılarak hedef çekirdekler ile çarpıştırılmasıyla sentezlendi. Kalsiyum-48, aynı zamanda çifte sihirli bir çekirdek.

Atom numarası 118'den büyük olan elementlerin bu yöntem kullanılarak sentezlenmesi için ise kalsiyum-48 iyonlarının atom numarası en az 99'dan büyük olan elementlerle çarpıştırılması gerekiyor. Ancak atom numarası 99'un üzerinde olan elementler, son derece radyoaktif ve sentezlenmeleri zor. Bu nedenle de füzyon tepkimesi için ihtiyaç duyulan miktarlarda elde edilmeleri mümkün değil. Dolayısıyla atom numarası 118'in üzerinde olan elementlerin elde edilebilmesi için yeni bir yöntem geliştirilmesi gerekiyor.



# 118. Elementin Ötesi



Jacklyn Gates, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarında 120. elementin sentezlenmesi üzerine çalışan Ağır Element Çalışma Grubu'nun lideri

Dünya genelinde 118. element olan oganessonun ötesindeki elementlerin keşfine yönelik birbirinden bağımsız olarak çalışmalar yapan gruplardan biri olan Dubna Nükleer Araştırmalar Enstitüsünden araştırmacılar, atom numarası 97 olan berkelyum atomlarını kalsiyum-48 iyonları yerine atom numarası 22 olan titanyum atomları ile, RIKEN Enstitüsünden bilim insanları ise atom numarası 96 olan küriyum atomlarını atom numarası 23 olan vanadyum atomları ile bombardıman etmeyi planlıyor.

Aşırı ağır elementlerin sentezinde farklı bir yöntem kullanan Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarındaki araştırmacılar ise yakın zamanda 120. elementin sentezlenmesine imkân verebilecek yeni bir yöntemi başarıyla test etti.

Aşırı ağır elementlerin sentezi için önerilen bu yeni yöntemde hedef elementin bombardıman

Jenny Nuss/Berkeley Lab

edilmesinde kalsiyum-48 iyonları değil, çekirdeğinde 22 proton bulunan titanyum-50 iyonları kullanılıyor. Titanyum-50 ise çifte sihirli bir çekirdek değil.

Araştırmacılar, öncelikle daha önce keşfedilmiş bir aşırı ağır elementi, önerdikleri bu yeni yöntem ile elde edip edemeyeceklerini test etti. Bu amaçla atom numarası 116 olan livermoryum elementini elde edebilmek için çekirdeğinde 94 proton bulunan plütonyum atomlarını, titanyum-50 iyonları ile çarpıştırdılar.

PeterHermesFurian / iStock

Kullanılan yöntemdeki en önemli zorluklardan biri, titanyum-50 iyonlarını oluşturmaktı. Çünkü titanyum-50 iyon demeti oluşturabilmek için titanyumun buharlaştırılması gerekiyordu. Araştırmacılar, bu amaçla titanyumu yaklaşık 1700 °C'ye kadar ısıttı. Oluşan titanyum-50 iyonları ise plütonyum-244 hedef çekirdekleri ile çarpıştırıldı. Bu süreçte saniyede 6 trilyon titanyum iyon, hedefe çarptı. 22 gün süren deneysel çalışmalar sonucunda iki livermoryum atomu elde edildi.

Araştırmacılar 120. elementi elde etmek için çekirdeğinde 98 proton bulunan kaliforniyum-249 çekirdeklerini, çekirdeğinde 22 proton bulunan titanyum-50 atomları ile bombardıman etmeyi planlıyor. Sonuçta oluşacak 120 atom numaralı elementin 175 ya da 176 nötrona sahip olacağı tahmin ediliyor. Proton ve nötron sayısı bu değerlerde olan bir element, kararlılık adasının sınırlarında yer alacak.

Araştırmacılar, 120. elementin sentezlenmesine yönelik deneysel çalışmaların 2025'te başlayabileceğini tahmin ediyor. Bu süreçte hızlandırıcı ekipmanlarının, hedef olarak kullanılacak kaliforniyum-249 atomları için uygun hâle getirilmesine yönelik çalışmaların tamamlanması amaçlanıyor. Kaliforniyum-249 çekirdeklerinden yeterli miktarda (yaklaşık 45 miligram) üretilebilmesi için ise Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı ile iş birliği yapılması planlanıyor. Deneyler başladıktan sonra ilk 120. element atomlarının elde edilmesinin 2-3 yıl sürebileceği öngörülüyor.
119. ve 120. elementlerin keşfedilmesine yönelik çalışmalar başarılı olursa yeni keşfedilen elementler, periyodik tablonun sekizinci satırının ilk üyeleri olacak. ■

## Kaynaklar


Gates, J. M. ve ark., "Towards the Discovery of New Elements: Production of Livermorium (Z=116) with 50Ti", arXiv, 2024. https://doi.org/10.48550/*arXiv*.2407.16079
Oganessian, Y. T. ve Utyonkov, V. K., "Superheavy nuclei from 48Ca-induced reactions", *Nuclear Physics A*, Cilt 944, s. 62–98, 2015. https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2015.07.003
Oganessian, Y., "Nuclei in the "Island of Stability" of Superheavy Elements", *Journal of Physics: Conference Series*, Cilt 337i Makale no: 012005, 2012. http://doi.org/10.1088/1742-6596/337/1/012005
Chapman, K. "The transuranic elements and the island of stability", *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Cilt 378, Sayı 2180, Makale no: 20190535, 2020. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0535
Ocak, M. E., "Kararlılık Adası", *Bilim ve Teknik*, Sayı 606, s. 42-47, 2018.
https://www.nature.com/articles/d41586-024-02416-3
https://journals.aps.org/prl/transuranium-elements-and-the-physical-review
https://www.acs.org/education/whatischemistry/landmarks/transuranium-elements-at-berkeley-lab.html
https://www.mpg.de/6311778/shell-effect_superheavy-atomic-nuclei
https://physicsworld.com/a/superheavy-elements/
https://www.scientificamerican.com/article/the-quest-for-superheavy-elements-and-the-island-of-stability/
https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2019.0535
https://www.rsc.org/news-events/community/2017/jan/new-elements/