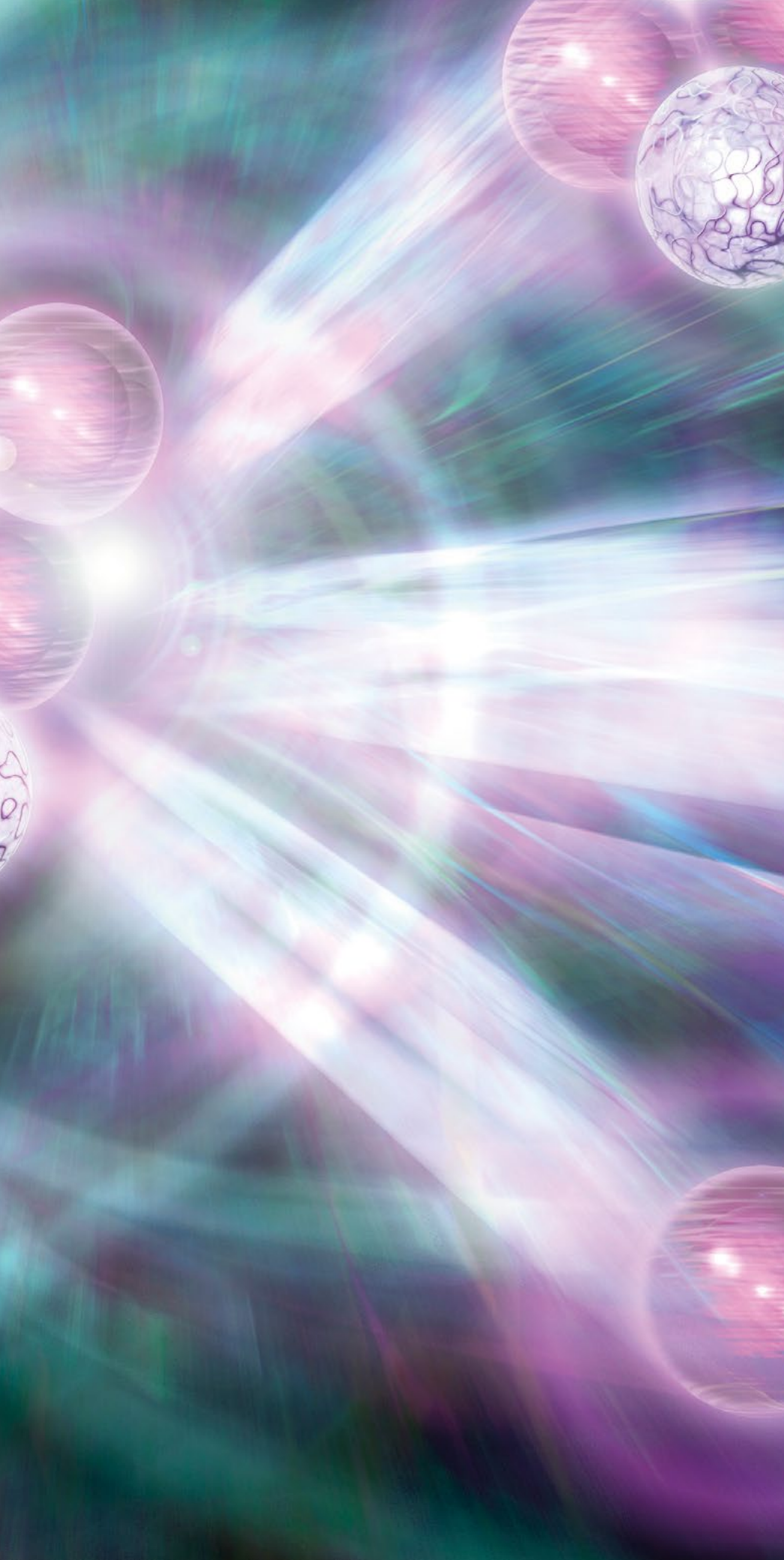


# Kararlılık Adası

Dr. Mahir E. Ocak [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Evren sentezlemenin sürekli devam ettiği devasa bir element fabrikası olarak görülebilir. Hidrojen ve bir miktar helyum dışında doğada bol miktarda bulunan tüm elementlerin yıldızların merkezlerinde veya patlama süreçlerinde üretildiği biliniyor. Bu doğal elementlerin en ağırı, atom çekirdeklerinde 92 proton bulunan uranyumdur. Periyodik tablodaki daha ağır elementlerin hiçbiriye doğadan toplanarak ya da madenlerin işlenmesiyle elde edilmemiştir. Tamamı hayli kararsız olan bu elementler, laboratuvar ortamında bilimsel çalışmalar sırasında üretilir ve çok kısa sürede bozularak daha kararlı başka elementlere dönüşürler. Ancak kuramsal tahminlere göre çeşitli aşırı ağır izotopların, eğer “doğru sayıda” protona ve nötrona sahiplerse, uzun ömürlü olmaları mümkündür. Yıllardır pek çok araştırmacı “kararlılık adası”nın içinde yer alan bu izotopları üretmek için çalışmalar yapıyor. Henüz doğada bol bulunan elementler gibi yarı ömrü milyonlarca, milyarlarca yıl olan izotoplar üretilebilmiş değil. Ancak gerçekten de bir kararlılık adasının olduğuna işaret eden veriler var. Eğer uzun ömürlü aşırı ağır izotoplar keşfedilir ve büyük miktarda üretilebilirlerse, bugün bilinen tüm elementlerden çok farklı ve yararlı özelliklere sahip olabilirler.

## Sihirli Sayılar

Atomların çekirdeklerinde pozitif yüklü protonlar ve yüksüz nötronlar vardır. Bu parçacıkların bir arada durmasını sağlayan “güçlü kuvvet”tir. Elektromanyetik kuvvetse pozitif yüklü protonların birbirini itmesine ve çekirdeğin kararsızlaşmasına sebep olur. Güçlü kuvvet, adından da anlaşılacağı gibi, elektromanyetik kuvvete göre çok daha güçlüdür. Bu yüzden hafif atomlar hayli kararlıdır. Ancak atom çekirdeklerindeki protonların sayısı arttıkça elektromanyetik itme güçlü kuvvetin çekimine baskın gelmeye başlar ve atomlar fisyon olarak adlandırılan bir süreçle parçalanır.

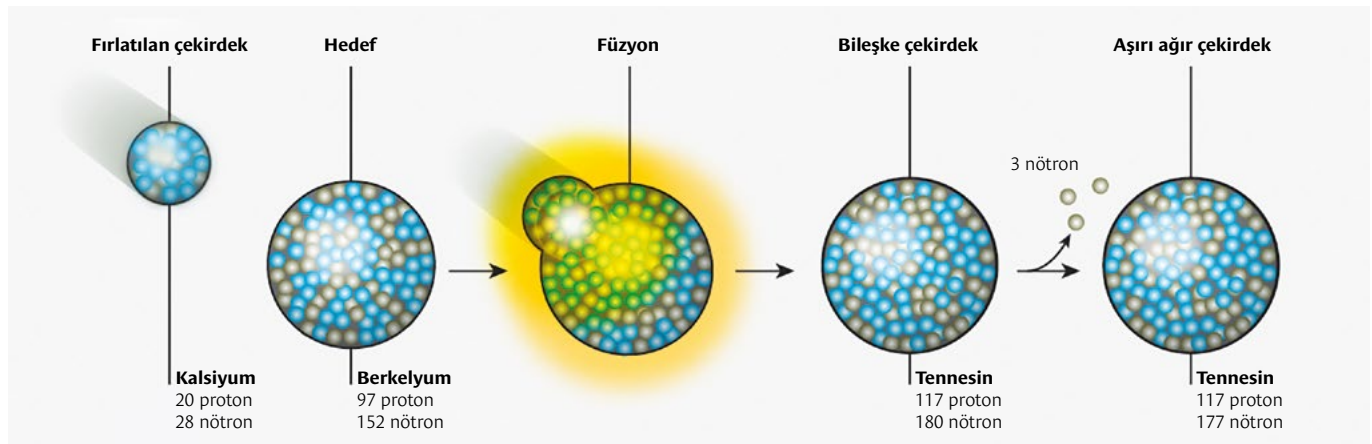
Atom çekirdeklerinin kararlılığı, sadece protonların ve nötronların sayısına değil, bu parçacıkların çekirdek içindeki düzenlenişine de bağlıdır. “Sihirli sayılar” olarak adlandırılan belirli sayıda protona ya da nötrona sahip izotopların daha kararlı olduğunun fark edilmesinden sonra, 1940’ların sonlarında Nobel ödüllü fizikçiler Maria Goeppert Mayer ve J. Hans D. Jensen tarafından “çekir-

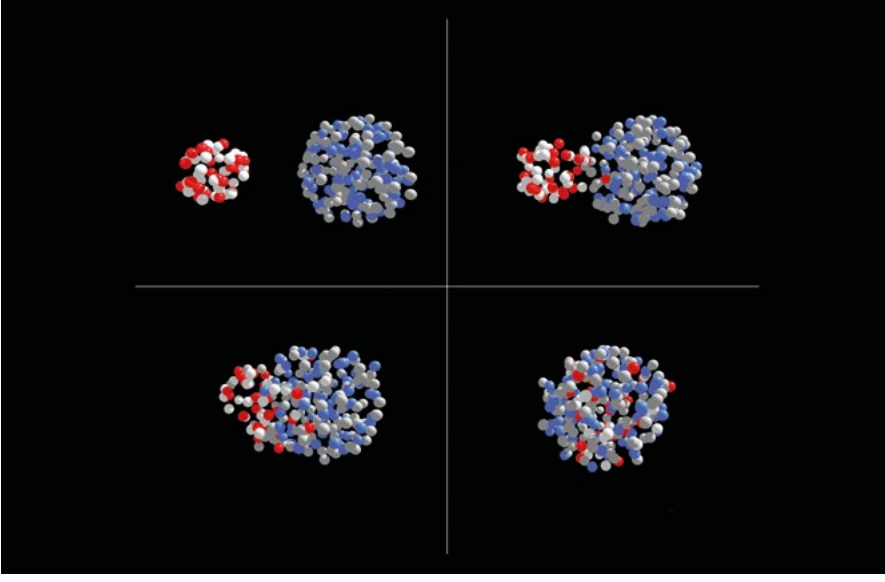
dek kabukları” modeli geliştirildi. Bu model atom çekirdeklerinde protonlar ve nötronlar tarafından doldurulan “proton kabukları” ve “nötron kabukları” olduğunu, bu kabukların tamamen dolu olmasının atomları çekirdek tepkimelerine girmeye karşı daha isteksiz (daha kararlı) yaptığını söyler. Proton ve nötron kabukları birbirinden bağımsızdır. Dolayısıyla bir izotop sadece sihirli sayıda protona ya da sadece sihirli sayıda nötrona sahip olabilir. Eğer bir izotop hem sihirli sayıda protona hem de sihirli sayıda nötrona sahipse “çifte sihirli” olduğu söylenir. Bilinen sihirli proton ve sihirli nötron sayıları aynıdır. Ancak her durumda aynı olmaları gerektiği de kesin olarak söylenebilir. Farklı kuramsal modeller sihirli sayılarla ilgili farklı tahminler yapar. Örneğin ilk olarak 1960’larda geliştirilen bir modele göre 114 protona ve 184 nötrona sahip bir atom çekirdeği o kadar kararlıdır ki yarı ömrü neredeyse Dünya’nın yaşı kadardır. Geçmişte laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar sonucunda 114 protona sahip atom çekirdekleri üretildiyse de bu izotopların hiçbiri 184 nötron içer-

miyordu. Dolayısıyla 114 proton, 184 nötron kombinasyonunun gerçekten de çifte sihirli olup olmadığı hâlâ bilinmiyor. Başka kuramsal tahminlere göre 120 ve 172 ya da 126 ve 172 de sihirli kombinasyonlardan olabilir.

Her ne kadar sihirli sayı kombinasyonlarıyla ilgili farklı tahminler olsa da, yaklaşık ya da tam olarak sihirli sayıda proton ve nötron içeren atom çekirdeklerinin uzun ömürlü olduğuna işaret eden veriler var. Deneyler çekirdekteki nötronların sayısı arttıkça aşırı ağır elementlerin yarı ömürlerinin uzadığını gösteriyor. Örneğin atom numarası (çekirdekteki protonların sayısı) 112 olan kopernikyum elementinin 165 nötron içeren izotoplarının yarı ömrü yaklaşık 0,6 milisaniye iken 173 nötron içeren izotoplarının yarı ömrü yaklaşık 30 saniyedir. Başka bir deyişle 165 nötron içeren kopernikyum çekirdeklerine 8 nötron ekleyebilirsiniz yarı ömürlerini 50.000 katına çıkarırsınız. Aşırı ağır elementlerin çekirdeklerindeki nötron sayısını gittikçe artırarak kararlılık adasına ulaşmanın mümkün olduğu düşünülüyor ve bu amaçla yapılan çalışmalara devam ediliyor.

Aşırı ağır elementleri sentezlemek için kullanılan yöntemlerden biri füzyon tepkimeleridir.





Bazı aşırı ağır elementlerin yarı ömrünün gerçekten de çok uzun olup olmadığı sorusu hâlâ cevaplanmayı bekliyor. Ancak eğer kuramsal tahminler doğruysa bu elementler doğal süreçlerle üretiliyor olabilir. Örneğin iki nötron yıldızının çarpışması gibi şiddetli gök olayları sırasında kararlı, aşırı ağır izotoplar sentezleniyor olabilir. Dolayısıyla her ne kadar çevremizde bol miktarda bulunmasalar da bu elementleri doğada arayıp keşfetmek mümkün olabilir. Ancak bugüne kadar bu amaçla yapılan çalışmaların hiçbiri olumlu sonuç vermedi.

## Yeni Elementlerin Üretilmesi

Kararlı, aşırı ağır elementlerin izlerine doğada rastlanamamış olsa da araştırmacılar yıllardır bu elementleri laboratuvar ortamında üretmeye çalışıyor. Kullanılan iki temel yöntem var. Birincisinde atom-

lar nötron bombardımanına tutuluyor. Nötron yakalayan çekirdekler daha sonra beta ışınması yaptığında bir nötronun bir proton ve bir elektrona dönüşmesiyle çekirdekteki protonların sayısı bir artıyor. Böylece atom numarası  $n$  olan elementlerden atom numarası  $n+1$  olan elementler sentezleniyor. Bu yöntemle ancak atom çekirdeklerinde 99 proton olan einsteinyum ve daha hafif elementler üretilebiliyor. Atom çekirdeklerinde 100 proton olan fermiyum ve daha ağır elementlerin beta ışınması yaptığını dair deneysel bir veri yok. Dolayısıyla fermiyum ve daha ağır elementler bu yöntemle sentezlenemiyor.

Aşırı ağır elementleri sentezlemek için kullanılan ikinci yöntemse füzyon tepkimeleri (bkz. yan sayfadaki şekil). Atom çekirdekleri, içerdikleri protonlar sebebiyle artı yüklü oldukları için birbirlerini iterler. Ancak elektriksel itme kuvvetlerini yenerek iki atom çekirdeğini güçlü kuvvetin etkisini gösterebileceği

kadar birbirine yaklaştırabilirsenez kaynaşarak tek bir atom çekirdeği oluştururlar. Füzyon tepkimeleri yıldızların merkezlerindeki aşırı yüksek sıcaklık ve basınç altında doğal olarak gerçekleşir. Laboratuvar ortamında füzyon tepkimeleri gerçekleştirmekse çok zordur. Bir elementin atomları “hedef” olarak bir noktada konumlanır, diğer elementin atomlarıysa çok yüksek hızlarla bu hedefe çarptırılır. Elektriksel itme kuvvetlerini yenebilmek için, hedefe “sıkılan” atom çekirdeklerini ışık hızının onda birine kadar hızlandırmak gerekir. Ancak çekirdeklerin birbirine temas etme olasılığı çok düşüktür ve kaynaşma ihtimalleri proton sayısı arttıkça azalır. İki çekirdek kaynaşsa bile çoğu zaman “bileşke çekirdek” neredeyse anında parçalanır. Araştırmacılar tüm zorluklara rağmen bu yöntemi kullanarak önemli başarılar elde etti. Örneğin periyodik tabloya en son eklenen 113, 115, 117 ve 118 atom numaralı elementler füzyon tepkimeleriyle sentezlendi. Gelecekte daha ağır elementlerin de füzyon tepkimeleriyle sentezlenmesi planlanıyor. Ancak aşılması gereken bir sorun var. Geçmişte hedeflere atom çekirdeklerinde 20 proton olan kalsiyum atomları gönderiliyordu. Atom numarası 98’den büyük olan elementlerden hedef olarak kullanılmalara yetecek miktarda bulunmadığı için kalsiyum çekirdekleri kullanılarak ancak 118 ve daha az proton içeren atom çekirdekleri üretilebiliyor. Dolayısıyla daha ağır elementlerin sentezlenebilmesi için öncelikle hangi çekirdek kombinasyonlarının daha iyi sonuç vereceğinin tespit edilmesi gerekiyor.

## Periyodik Tablo

Bir elementin türünü belirleyen, atom numarası yani çekirdeğindeki proton sayısıdır.

Aynı elementin farklı sayıda nötrona sahip atomlarına izotop denir. Periyodik tabloda benzer kimyasal özelliklere sahip elementler aynı gruplarda (sütunlarda) yer alır. Doğada bol miktarda bulunan en ağır element, 92 atom numaralı uranyumdur. Daha ağır elementlerin tamamı bilim insanları tarafından sentezlenmiştir. Bugün periyodik tabloda yer alan en ağır element, 118 atom numaralı oganesson'dur. Araştırmacılar 119 ve 120 atom numaralı elementleri sentezlemek için çalışmalar yapıyor.

|     |     |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| H   |     |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | He  |
| 1   |     |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 2   |
| Li  | Be  |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     | B   | C   | N   | O   | F   | Ne  |
| 3   | 4   |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| Na  | Mg  |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Al  | Si  | P   | S   | Cl  | Ar  |
| 11  | 12  |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
| K   | Ca  | Sc     | Ti  | V   | Cr  | Mn  | Fe  | Co  | Ni  | Cu  | Zn  | Ga  | Ge  | As  | Se  | Br  | Kr  |
| 19  | 20  | 21     | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 32  | 33  | 34  | 35  | 36  |
| Rb  | Sr  | Y      | Zr  | Nb  | Mo  | Tc  | Ru  | Rh  | Pd  | Ag  | Cd  | In  | Sn  | Sb  | Te  | I   | Xe  |
| 37  | 38  | 39     | 40  | 41  | 42  | 43  | 44  | 45  | 46  | 47  | 48  | 49  | 50  | 51  | 52  | 53  | 54  |
| Cs  | Ba  | *      | Hf  | Ta  | W   | Re  | Os  | Ir  | Pt  | Au  | Hg  | Tl  | Pb  | Bi  | Po  | At  | Rn  |
| 55  | 56  | 57-71  | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  | 78  | 79  | 80  | 81  | 82  | 83  | 84  | 85  | 86  |
| Fr  | Ra  | **     | Rf  | Db  | Sg  | Bh  | Hs  | Mt  | Ds  | Rg  | Cn  | Nh  | Fl  | Mc  | Lv  | Ts  | Og  |
| 87  | 88  | 89-103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 |
| 119 | 120 |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| *   | La  | Ce     | Pr  | Nd  | Pm  | Sm  | Eu  | Gd  | Tb  | Dy  | Ho  | Er  | Tm  | Yb  | Lu  |     |     |
|     | 57  | 58     | 59  | 60  | 61  | 62  | 63  | 64  | 65  | 66  | 67  | 68  | 69  | 70  | 71  |     |     |
| **  | Ac  | Th     | Pa  | U   | Np  | Pu  | Am  | Cm  | Bk  | Cf  | Es  | Fm  | Md  | No  | Lr  |     |     |
|     | 89  | 90     | 91  | 92  | 93  | 94  | 95  | 96  | 97  | 98  | 99  | 100 | 101 | 102 | 103 |     |     |

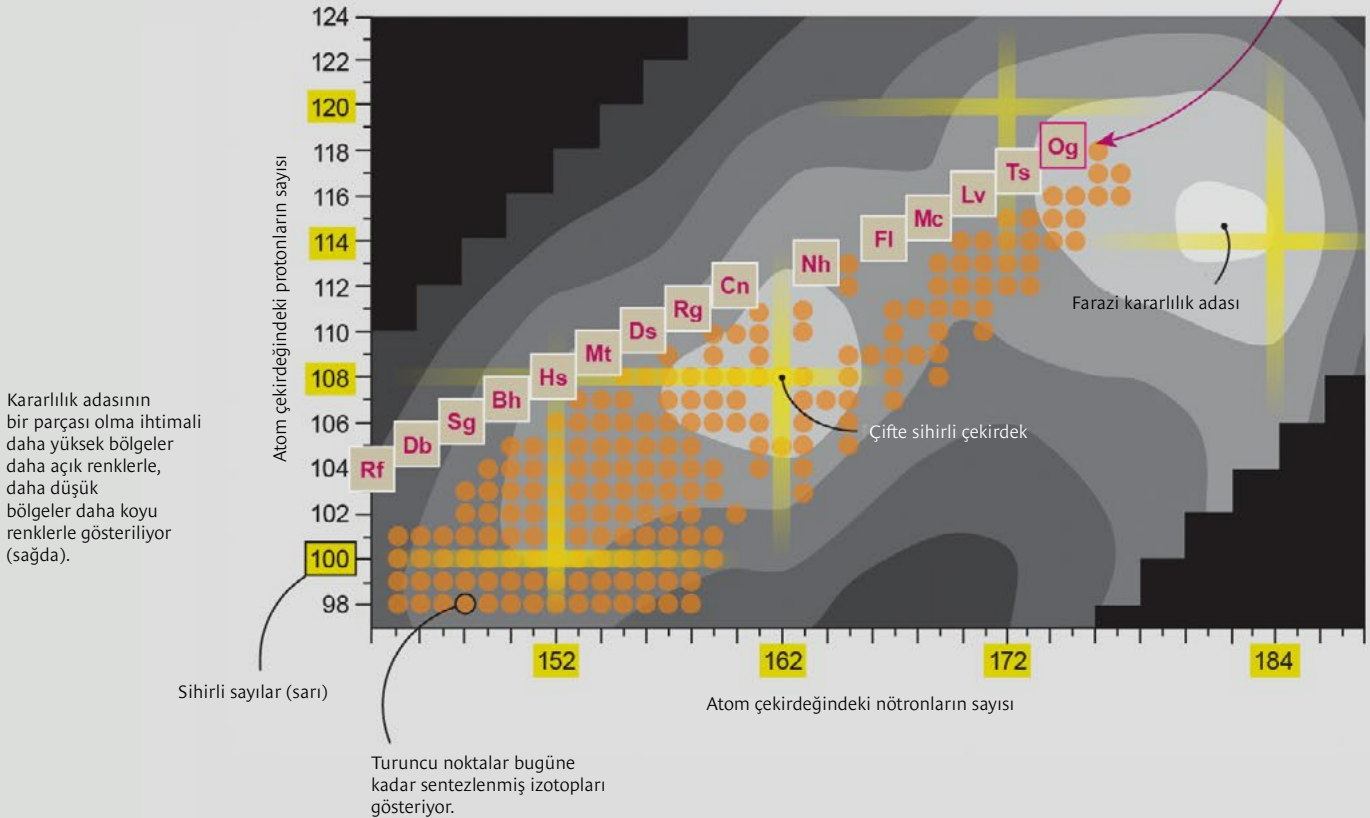
Atom numarası (atom çekirdeğindeki protonların sayısı)

Lantanitler(\*) ve aktinitler(\*\*) benzer kimyasal özelliklere sahip oldukları için periyodik tablonun ana gövdesinin dışında yer alırlar.

119 ve 120 atom numaralı elementlerin farazi konuları

## Kararlılık Adası

Çekirdek kabukları kuramına göre atom çekirdeklerinde nötronlar ve protonlar tarafından doldurulan nötron kabukları ve proton kabukları vardır. Kabukların tam olarak dolu olması, atom çekirdeklerini daha kararlı yapar. Proton ya da nötron kabuklarının tam olarak dolu olması için gerekli proton ya da nötron sayılarına sihirli sayılar denir. Hem sihirli sayıda protona hem de sihirli sayıda nötrona sahip çekirdeklerin çifte sihirli olduğu söylenir. Bilimsel çalışmalar, içinde uzun ömürlü aşırı ağır izotopların bulunduğu bir "kararlılık adası"nın varlığına işaret ediyor. Ancak henüz kararlılık adasının içinde yer aldığı söylenebilecek bir izotop sentezlenmedi. Kuramsal olarak 114 proton, 184 nötron kombinasyonunun çifte sihirli olduğu tahmin ediliyor. Bu kombinasyona sahip bir izotopun kararlılık adasının içinde yer alma ihtimali çok yüksek.

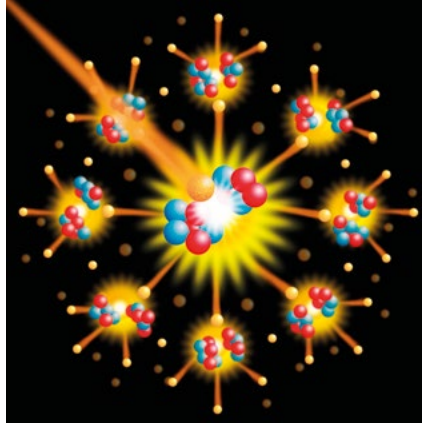


## Sıradışı Kimyasal Özellikler

Her ne kadar aşırı ağır elementler çok kısa ömürlü olsa da son yıllarda geliştirilen deneysel yöntemler sayesinde bu elementlerin kimyasal özellikleri hakkında bilgi edinilebiliyor. Bugüne kadar kimyasal özellikleri hakkında deneysel çalışmalar yapılan en ağır element, atomlarının çekirdeğinde 114 proton olan flerovyum. Bu element periyodik tabloda kurşunun altında yer alır. Dolayısıyla sıradan bir ağır metal gibi davranması beklenebilir. Ancak 1970'lerde yapılan kuramsal çalışmalar bu elementin bir ağır metalden daha çok bir soygaz gibi davranacağını öne sürüyor. Bu durumun temel nedeni, çekirdekteki aşırı pozitif yükün çekirdeğin etrafında dönen elektronları ışık hızının %80'ine kadar hızlandırması. Rölativistik etkiler sebebiyle kütlelerinin artması, elektronların çekirdeğe daha yakın yörüngelerde dönmesine sebep olur. Böylece elektronlar çekirdeğe daha güçlü bağlanır, koparılmaları zorlaşır. Dolayısıyla flerovyum elementi, kurşun gibi bir ağır metale kıyasla, kimyasal tepkimelere girmeye karşı daha isteksiz davranır. Ancak kuramsal tahminlere göre yine de altın ve benzeri elementlerle zayıf metalik bağlar kurabilir.

Günde sadece birkaç atom üretilebilmesine ve en uzun ömürlü izotopları bile sadece 1-2 saniye içinde bozunmasına rağmen, geçtiğimiz yıllarda flerovyum üzerine çok sayıda deneysel çalışma yapıldı. Ancak kimyasal davranışlarının metallere mi yoksa soygazlara mı daha çok

benzediği üzerinde henüz bir uzlaşmaya varılamadı. Farklı araştırma grupları tarafından yapılan deneyler farklı sonuçlar veriyor. Ayrıca flerovyum büyük miktarda üretilmediği için rengi ve oda sıcaklığındaki hali de bilinmiyor. Bazı tahminlere göre gümüşümsü beyaz ya da açık gri olabilir ve oda sıcaklığında katı halde bulunabilir.



Üzerine deneysel çalışmalar yapılan bir başka aşırı ağır element, atomlarının çekirdeğinde 102 proton olan nobelyum. Kurşun metalinden oluşan bir hedef, kalsiyum atomlarıyla bombardıman edilerek saniyede birkaç nobelyum atomu üretilebiliyor. Araştırmacılar farklı nobelyum izotoplarının iyonlaşma enerjilerini (atomlardan elektron koparmak için gerekli enerji miktarını) ölçerek protonların ve nötronların çekirdekteki düzenlenişlerinin orbitalleri ve elektronların davranışlarını nasıl etkilediğini belirlemeye çalışıyor.

Aşırı ağır elementlerin kimyasal tepkimelerdeki davranışlarını anlamak için de çalışmalar yapılıyor. Örneğin yakın zamanlarda seaborgiyum elementini içeren moleküller

sentezlendi. Yarı ömrü yaklaşık 10 saniye olan seaborgiyum izotopları içeren bir gözeye karbonmonoksit (CO) molekülleri eklendiğinde, merkezi bir seaborgiyum atomunun etrafında altı karbonmonoksitin yer aldığı bileşiklerin oluştuğu görüldü. Seaborgiyum benzer elektronik yapıya sahip molibden ve tungsten ile benzer davranışlar gösteriyor. ■

*Bir kararlılık adasının gerçekten de var olup olmadığı, eğer varsa uzun ömürlü aşırı ağır izotopların sentezlenip sentezlenemeyeceği hâlâ cevaplanmayı bekleyen sorulardan. Ancak yeni izotoplar üretildikçe ve deneysel yöntemlerle incelendikçe maddenin yapı taşları hakkındaki bilgimiz artmaya devam ediyor.*

### Kaynak

Düllmann, C. E. ve Block, M., "Island of Heavy Weights", *Scientific American*, s. 48, Mart 2018.

