

Yeni Kuşak Parçacık Hızlandırıcılarıyla Egzotik Maddenin Yapısı Belirleniyor

Kendinizi, dünyadaki tüm mutfakların tüm yemeklerini, elindeki un, pirinç, patates ve yerelmasından oluşan malzemeye yapmaya çalışan bir aşçının yerine koyun. Böylece çekirdeğin yapısını incelemek ve kozmosta oluşan egzotik çekirdek tepkimelerini araştırmak isteyen fizikçilerin duyduğu çaresizliği anlamış olursunuz. Benzetmeyi sürdürüelim: Örneğin yıldızların ve süpernovaların cehennemi andıran içleriyle nötron yıldızlarının yüzeyleri, sanki birer nükleer fırın. Buralarda, proton ve nötronların ağırlığıyla ezilen kararsız çekirdekler çarpışıyor ya da bozunuyor; aynı biçimde kararsız yeni yeni parçacıklar oluşturuyorlar. Bu tepkimelere binlerce radyoaktif çekirdek katılıyor. "Oysa" diyor, İngiltere'deki Surrey Üniversitesi'nden William Gelletly, "burada topraktan çıkarabildiğiniz 283 çekirdek türüyle yetinmek zorundasınız"!

Nükleer fizikçileri bu tür sınırlamalara isyan ettiren etken, yalnızca acayip şeylere olan meraklarından kaynaklanmıyor. Bu egzotik çekirdeklerin bolluğu ve tepkime hızları, fizikçilere yıldızların nasıl gelişip patladıklarını belirlemede yardımcı oluyor. Yıldızlardaki egzotik çekirdek tepkimeleri, bize kendi evimiz hakkında da ışık tutuyor: Bu tepkimeler, tanıdığımız birçok elemente kaynaklık etmiş. Bu tepkimelerde rol oynamış kararsız çekirdeklerin davranış biçimleri de atom çekirdeklerinin yapısı konusunda zengin ipuçları sağlıyor. Fizikçiler bu çekirdeğin, tıpkı atomun kendisi gibi iç içe parçacık kabukları biçiminde olduğunu düşünüyorlar. Gelletly, "kararlı çekirdeklerin yapısı konusunda öğrendiğimiz her şeyin, kararsız çekirdekler için tümüyle yanlış çıkmasını bekliyoruz" diyor.

Fizikçiler, kararlı izotopları çarpıştırarak birtakım egzotik çekirdekler elde etmeyi başarmışlar. Gerçi bunlar az sayıda; ama gene de araştırmacıların erimi dışındaki çekirdek yapıları ve tepkimelerine küçük pencereler açıyorlar. California'daki Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'ndan Victor Ninov'a göre, "kararlı çekirdekler, yıldızlar ya da süpernovalardaki nükleer yapı ya da nükleer sentez konusunda pek bir şey söylemiyor". Araştırmacılar, yoğun radyoaktif çekirdek demetleri oluşturulmasını sağlayacak bir yöntemin yokluğunu duymaktaydılar. Daha sonra başka çekirdeklerle çarpıştırılacak bu demetlerin, yıldızlarda uygulanan yemek tariflerinin benzerlerini ortaya çıkaracağı umuluyordu.

Yeni kuşak bir dizi parçacık hızlandırıcısı, fizikçilerin bu düşünüyü artık gerçekleştirmeye başlamış bulunuyor. "Hat Üstünde İzotop Ayrımı" (Isotope Separation Online – ISOL) denen bir teknik, ikinci bir hızlandırma evresiyle birleşerek kısa ömürlü radyoaktif çekirdeklerden güçlü ve parlak demetler oluşturuyor. Bu demetler de daha önce erim dışındaki tepkimeleri yeniden ya-

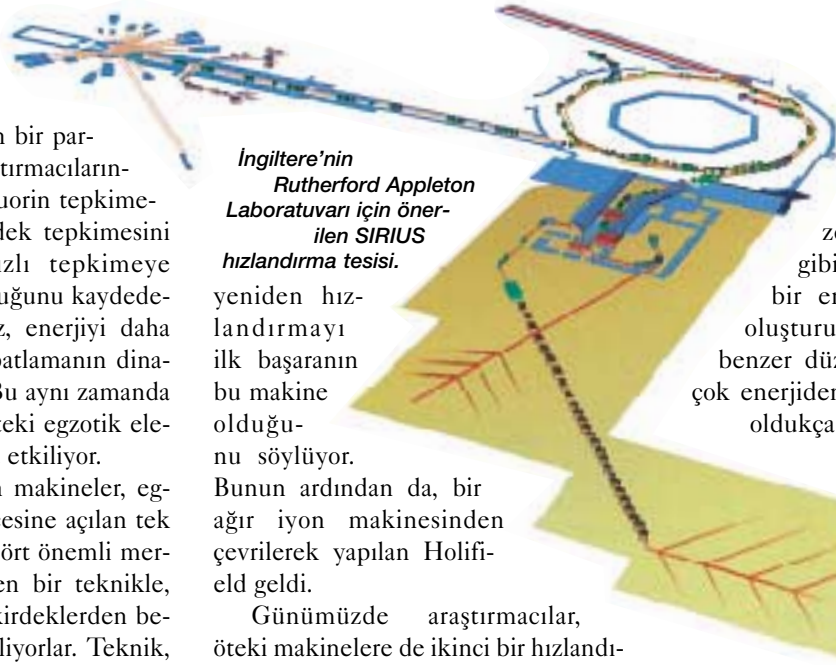


Holifield tesisi, yıldız patlamalarında oluşan elementleri yeryüzünde oluşturmaya çalışıyor.

ratabiliyor. Böylece yepyeni çekirdek türlerinin incelenmesine olanak sağlıyor. Temelde, iki aşamalı teknikte önce kararlı çekirdeklerden oluşan bir parçacık demeti, hareketsiz bir hedefe çarpıtılıyor. Çarpışma enkazı toplanıyor ve içinden ilgi çeken kararsız türler seçiliyor. İkinci aşamada bunlar bunlar bir başka hızlandırıcıya sokularak ve böylece bir deney için ikinci bir hedefle çarpıştırılacak bir "radyoaktif çekirdek demeti" (Radioactive Nuclear Beam - RNB) oluşturuluyor.

Günümüzde, bu ISOL-temelli gerçek RNB makinelerinden dünyada yalnızca iki tane var. Biri ABD'nin Tennessee eyaletindeki Oak Ridge Ulusal Laboratuvarında, öteki de Belçika'nın Louvain kentindeki Katolik Üniversitesi'nde. Ama gene de giderek artan sayıda fizikçi, bu makinelerin çekirdek araştırmalarında yepyeni bir sayfa açacağına inanmaya başlamış.

Oak Ridge laboratuvarında 1996 yılında hizmete giren makine ve resmi adıyla Holifield Radyoaktif İyon Demeti Tesisi (HRIBF) ile deney yürüten araştırmacılar, siklotron türü bir başka hızlandırıcıdan sağladıkları hafif iyonları oksijen bakımından zengin bir hedefle çarpıştırarak, kısa ömürlü fluorin 17 izotoplarından bir demet oluşturmuşlar. ISOL aşamasında çarpışma enkazından manyetik yöntemle ayıklanan fluorin iyonları, elektrostatik olarak yeniden hızlandırılarak bir radyoaktif çekirdek demetine dönüştürülmüş. Demeti, protonca zengin bir hedefe yönlendiren araştırmacılar, fluorin 17'nin, bir neon 18 izotopunu oluşturup bir de gama fotonu yayımlamasıyla sonuçlanan tepkimenin hangi sıklıkla meydana geldiğini ölçmüşler. Bu süreç, nova ve X-Işını patlamaları gibi yıldız patlamalarının şiddetini etkile-



İngiltere'nin Rutherford Appleton Laboratuvarı için önerilen SIRIUS hızlandırma tesisi.

yen tepkime zincirinin bir parçası. Oak Ridge araştırmacılarından Michael Smith, florin tepkimelerinin, ağır bir çekirdek tepkimesini atlayıp doğrudan hızlı tepkimeye ulaşma eğiliminde olduğunu kaydederek, "böyle yaparsanız, enerjiyi daha hızlı üretir ve bu da patlamanın dinamiğini etkiler" diyor. Bu aynı zamanda patlamanın yarattığı öteki egzotik elementlerin miktarını da etkiliyor.

Holifield türünden makineler, egzotik çekirdekler bahçesine açılan tek kapı değil. Dünyada dört önemli merkez, "parçalama" denen bir teknikle, fazla olmasa da bu çekirdeklerden belirli bir miktar üretebiliyorlar. Teknik, önce ağır ve hızlı iyonları bir hedefe çarptırmak, daha sonra demetteki iyonların parçalarını enkazdan bir manyetik parça seçicisiyle toplayıp, bunları yeniden hızlandırmaksızın denemenin ikinci ve asıl aşamasına göndermek temeline dayanıyor. Bu yaklaşımın avantajı, hızlı, hatta mikrosaniye sürelerde bozulan izotoplardan bile yararlanabilmesi. Buna karşılık ISOL yönteminde, iyonları enkazdan ayırıp sınıflandırabilmek en az birkaç saniye alıyor. İşin kötü yanıysa, çekirdek demetinin düşük yoğunluk ve kalitede olması.

Yaklaşık 30 yıl önce Cenevre'deki Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN'de geliştirilen ISOL, ağır iyonlar yerine protonları hareketsiz bir hedefle çarpıştırarak radyoaktif çekirdekler oluşturuyor. Bu çekirdekler daha sonra çarpışma enkazından müknaşlarla ayıklanıyor. ISOLDE adlı orijinal ISOL tesisi, iyonları yeniden hızlandırmadığından, oluşturulan çekirdek demetinin enerjisi çok düşük oluyor, bu da yıldızların sıcak merkezlerindeki koşulları oluşturmak, ya da çekirdekleri, belirli türden tepkimeler oluşturacak şiddetlerde çarpıştırmak için yetersiz kalıyordu. 10 yıl kadar önceyse bir ISOL aygıtının çıktısını yeniden hızlandırarak her iki sorunun da üstesinden gelebileceklerini keşfettiler. Bu da dünyanın her yerinde ISOL-temelli RNB makineleri yapımı için bir yarış başlattı. Louvain Katolik Üniversitesindeki ARENAS adlı makine 1990'lı yılların ortasında hizmete girdiyse de henüz tam kapasiteye ulaşamadı. Smith, gene de parçacıkları, işe yarar, örneğin astrofizik çalışmalarında kullanılacak enerji düzeylerine kadar

yeniden hızlandırmayı ilk başarının bu makine olduğu- nu söylüyor.

Bunun ardından da, bir ağır iyon makinesinden çevrilerek yapılan Holifield geldi.

Günümüzde araştırmacılar, öteki makinelere de ikinci bir hızlandırıcı takarak bunları RNB makinelerine dönüştürüyorlar. Kanada'nın Vancouver kentindeki Simon Fraser Üniversitesi araştırmacılarından John Dauria, kentteki TRIUMF Parçacık Hızlandırma Tesisi'nin, eldeki bir siklotrona bir ISOL sistemi eklendiğini bildiriyor. Araştırmacıya göre bu, dünyadaki en yoğun ISOL sistemi. İkinci aşama hızlandırıcısıysa, sisteme yakında eklenecek. CERN'de de ISOLDE'ye küçük bir ikinci aşama hızlandırıcısı ekleniyor. İngiltere'de, Oxford yakınlarındaki Rutherford Appleton Laboratuvarı'nda, birinci aşama olarak ISIS saçılım kaynağından bir proton demeti kullanacak bir RNB tesisi için finansman aranıyor. Fransa'nın Caen kentindeki GANIL ağır iyon araştırma laboratuvarında SPIRAL adlı çift siklotron ISOL sistemi, deneylere başlamak için onay bekliyor.

Sırada, özel amaçlar için tasarlanmış makineler var. ABD'nin Virginia eyaleti Newport News kentindeki Thomas Jefferson Ulusal Hızlandırma Tesisi, yarım milyar dolar tutarında "ikinci kuşak" bir RNB peşinde. Atlantığın öte yakasında, İsveç'in Göteborg Üniversitesi de Avrupa için benzer bir tesisin bayraktarlığını yapıyor.

Bu yeni makine bolluğu sayesinde nükleer fizikçiler artık tat vermeyen temel gıdaları kararlı çekirdekleri bırakıp yakında bol çeşit ve tatta yeni izotoplar pişirmeye başlamayı, bu yolla da çekirdeğin kuramsal resmini zenginleştirmeyi umuyorlar. Çekirdek kuramının temel taşlarından biri kabuk modeli. Bu modele göre kısaca nükleon diye adlandırılan proton ve nötronların toplam kuantum etkileri,

çekirdeğin çevresindeki elektronların değişik enerji düzeyindeki yörüngeleri gibi, çekirdeğin içinde de bir enerji düzeyleri dizisi oluşturuyor. Tek bir kabuk, benzer düzeyde bir ya da daha çok enerjiden oluşuyor. Ne var ki, oldukça başarılı sayılabilecek bu model, işin içine önemli ölçüde bir nötron ya da proton fazlalığı girince, işlemez hale geliyor.

Basit geometri, çekirdek için değişmez bir yoğunluk öngörüyor. Bu nedenle de, belirli hacimde bir su eklenince bir su balonunun genişlemesi gibi, ek nükleonlar da atom çekirdeğini 1/3 kuvvet yasası temelinde genişletiyor. Kararlı çekirdekler doğal olarak bu yasaya uyuyor. Ancak parçalanma tesislerinde kararsız çekirdekler üzerinde yapılan ilk gözlemler, bunların yasadan büyük ölçüde saptığını da gösteriyor. Fransa'nın çekirdek ve parçacık fiziği laboratuvarı IN2P3 araştırmacılarından Nigel Orr, "en büyük sürprizlerden biri, kararlılık yelpazesinin uçlarındaki çekirdeklerden bazılarının kütlelerinin, beklediğimizden çok farklı olmalarıydı" diyor. Örneğin lityum-11 izotopu, komşu izotoplara karşılaştırıldığında, beklenenin çok üstünde bir kütleyle sahip.

Bir çarpışma sonucu çekirdek parçalandığında etrafa saçılan parçaların momentum dağılımını izleyen fizikçiler, lityum-11'deki bu şişmenin, çekirdeğin daha yoğun merkezi çevresinde bir tür "hale" oluşturan en dıştaki (valens) nötronlardan oluştuğunu keşfettiler. Nükleer fizikçiler ayrıca helyum-6, berilyum-11, berilyum-14 ve boron-17 izotoplarında da bu tür nötron halleri buldular. En son olarak da, dört ayrı parçalama tesisinde görevli araştırmacıların işbirliği sonucu, karbon-19 izotopunda da nötron halesi belirlenmiş bulunuyor.

Bu nötron hallerinin bir adım ötesi, "nötron zarları" denen çok sıkı bir çekirdek merkezinin çevresinde nötronca zengin yüzey katmanları. Fizikçilere göre helyum-8 çekirdeğinde, bir olasılıkla 4 nötrondan oluşan bir zar bul-

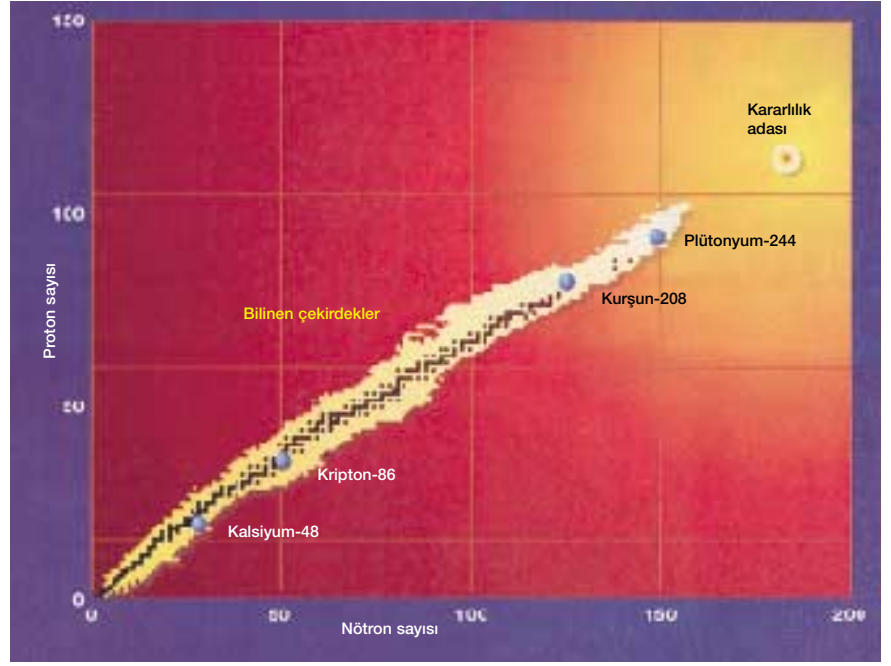
unuyor. Orr, nötronca çok zengin sodyum izotopları gibi çekirdeklerde de nötron zarları olduğu yolunda deneysel kanıtlar bulunduğunu belirtiyor. Gellertly'e göre çekirdek malzemesinden oluşmuş zarlar, çekirdekler arasındaki tepkimeleri, fizikçilerin RNB makineleriyle yapmaya çalıştıkları gibi kökten değiştiriyor.

Michigan Devlet Üniversitesi'nden Gregers Hansen, "şimdilik, yapıyla tepkime mekanizmaları arasındaki karşılıklı etkileşimi anlamaya çalışıyoruz" diyor. Araştırmacıya göre, "Bu konuda bilgilendiğimizde, kararlı olmaktan çok uzak, hiç tanımadığımız çekirdeklerin yapılarını da inceleyebileceğiz." Bu yolda ilerledikçe, fizikçiler yeni yeni görmeye başladıkları haleler ve zarlardan çok daha garip çekirdek yapılarıyla karşılaşmayı bekliyorlar.

Tennessee Üniversitesi'nden Witek Nazarewicz, "benim için haleler ve zarlar, hayvanat bahçesindeki pandalar gibi" diyor. "sevimli ve ilginç hayvanlar; ama bir hayvanat bahçesi, çok daha heyecan verici başka hayvanlarla da dolu". Bu egzotik türlerin, fizikçilerin çekirdek konusundaki anlayışları üzerinde dramatik etkiler yapacağı açık. Zaten Nazarewicz'e göre, "zarlar ve haleler, daha yalnızca bir başlangıç; nötron zengini yepyeni, bir dünyanın ön habercileri, büyük bir resmin küçük ayrıntıları".

Fizikçilerinin RNB araştırmalarından öteki beklentileri arasında çekirdekler ailesinin nereye kadar uzandığı sorusunun yanıtı da bulunuyor. Nazarewicz'in sorusu "çekirdek durumunda var olmanın sınırları ne?" Nötron sayısına karşılık proton sayısı temelinde çizilen çekirdek şemasında kararlı çekirdekler, ortada geniş bir bant halinde sıralanıyorlar. Protonca daha zengin çekirdekler bu bantın üstünde, nötronca zengin olanlara altında yer alıyorlar. Çekirdek ailesinin aşırı eğilimdeki üyeleri ise bu geniş izotop diziliminin tepesi ve dibindeki "düşme hatlarını" oluşturuyorlar. Bu sınırların ötesinde bir çekirdeğe eklenen proton ya da nötronlar tutunamayıp düşüyorlar. Ama bu düşme hatlarının sınırları çok belirgin değil.

Nötron düşme hattı özellikle belirsiz; çünkü kimse bu bölgeyi, hafif çekirdeklerin ötesinde keşfetme olanaklarına kavuşamamış. Zaten kuramcılar



arasında da bu bölgenin sınırları konusunda ortak bir görüş yok. Düşük kütleli izotoplar için, bunları kararlı bölgeden çıkartıp düşme hattına itecek proton ya da nötronların sayısı küçük. Bu fazladan çekirdek parçaları da el altında; parçalama makinelerinin ürünleri arasından toplanabiliyor. Hansen, "bugünün olanaklarıyla düşme bölgesi ancak oksijen izotoplarına kadar inceleyemedi" diyor.

Bu noktanın ötesinde, kuramcılar çok farklı düşme hatları olması gerektiğini düşünüyorlar. Surrey Üniversitesi'nden Philip Walker, "aslında hesaplar çok güvenli değil ve nötron düşüşü de kuramsal olarak bile yeterince belirlenebilmiş değil" diyor. Araştırmacıya göre şemanın nötron-yoğun tarafında keşfedilmeyi bekleyen daha binlerce çekirdek bulunabilir. Nötron düşüş hattına doğru yaklaşım daha ağır elementleri araştırmak, egzotik çekirdekler oluşturmaya yetecek toplamda nötron ve proton sağlayabilecek iki ağır çekirdeği çarpıştırmak demek. Bu da ancak RNB makinelerinde gerçekleştirilebilecek bir hedef. Nazarewicz, "kararlı çekirdek demetleri ve kararlı çarpışma hedefleriyle, nötronca çok zengin çekirdek bölgesinin yanına bile yaklaşamayız" diyor.

Nötron düşme hattı, egzotik bir bölge olmasına karşın, birçok kararlı elementin oluşumuna ışık tutabilecek. En hafif elementler, yani hidrojen, helyum ve lityum, büyük patlamanın eseri. Ötekilerse yıldızların nükleer fırın-

larında oluşup süpernova patlamalarıyla uzaya saçıldılar. Astrofizikçiler, elementleri oluşturan süreçlerin bazıları konusundaki bilgilerinin sağlamlığından kuşku duymuyorlar. Örneğin uzun dönemli nötron yakalama döngüsü, ya da kısa adıyla "yavaş süreç". Bu, yaşamlarının sonuna yaklaşım kırmızı dev evresine girmiş yıldızlarda çekirdeklerin yılda ortalama bir ek nötron yakalayabildikleri bir süreç. Çekirdekler daha sonra beta bozunumuyla bir elektron yayımlayıp nötronu protona dönüştürüyor ve bu süreç ağır ağır demir elementinin oluşumuna kadar sürüyor.

Astrofizikçiler, hızlı nötron tutumu, ya da kısaca "hızlı süreç" denen ve süpernovalarda oluştuğu sanılan ağır element sentezi konusundaysa bilgilerine o kadar güvenmiyorlar. Hızlı süreçte, bir çekirdek her saniye bir ya da daha çok nötron yakalayarak nötron düşme hattına kadar yaklaşabilir; ancak daha sonra beta bozunumuyla (nötron-proton sayısını dengeleyip) element diziliminde bir üst sıraya çıkar. Chicago yakınlarındaki Argonne Ulusal laboratuvarı'ndan Jerry Nolen, Astrofizikçilerin ancak nötronca son derece zengin, ve dolayısıyla da son derece kararsız çekirdek örnekleri yaratarak hızlı süreç konusundaki bilgilerini pekiştirebilecekleri görüşünde. Araştırmacıya göre bunun için gerekli çekirdek demetlerini oluşturmak, kesin olarak günümüz hızlandırıcılarının erimi dışında kalıyor.

Düşme hattı yakınlarında gerçekleşen tepkimelerin modelinin belirlenmesi, astrofizikçilere süpernovalarda element oluşumu resmini netleştirmede yardımcı olacak. Bu sürecin, periyodik tablonun sonlarındaki ağır elementlerin birçoğunun kaynağı olduğu düşünülüyor. Süpernovalar ve öteki kozmik süreçlerde ortaya çıkan karmaşık tepkimeleri anlayabilmek içinse, bunlara katkıda bulunan binlerce çekirdeksel süreç konusunda en azından bazı şeyler bilmek gerekiyor. Smith, "laboratuvarında, cisimlerin birleşme hızları konusunda nükleer ölçümler yapabiliyorsunuz...ve bu da, bu sistemlerin nasıl patlayabileceği konusundaki kuramsal modeller için veri girdisi oluşturuyor" diyor. "Daha sonraysa oluşan modelin çıktısını gökbilim gözlemleriyle karşılaştırmak ve kuramla deneyi bağdaştırmak gerekiyor."

Düşme hatlarını incelemenin yanı sıra, araştırmacılar periyodik tablonun en üstünde yer alan ve doğada bulunmayıp ancak laboratuvarlarda yaratılabilen "süper ağır" elementler bölgesinin dışına da göz atmak istiyorlar. Dünyanın çeşitli yerlerinde birçok laboratuvar, harıl harıl yeni süper ağır elementler yaratmaya uğraşiyor. Yalnızca geçen yıl içinde 114, 116 ve 118. elementler yaratıldı. Ancak bu çabanın amacı, "albüm için yeni pullar toplamak" değil. Bu işle uğraşan ekipler, çekirdeğin kabuk modelinin bir öngörüsünü doğrulamaya çalışıyorlar.

Fizikçiler, bir kabuğu tam olarak doldurmak için gerekli sayıda proton ve nötron bulunması durumunda çekirdeğin kararlılık kazandığını biliyorlar. Hatta bu "sihirli sayılar"dan birine yakın olmak bile kararlılığı artırıyor. Oksijen, kalsiyum, nikel, kalay ve kurşun bu sihirli sayılarda protona sahip. Dolayısıyla bu elementlerin, komşularına oranla daha çok sayıda kararlı izotopları oluyor. Bazı kabuk kuramcıları, 114'te de böyle bir kararlı sayı bulunduğunu düşünüyorlar. Element 114'ü ve çevresindeki çekirdekleri sentezleyerek fizikçiler, çekirdekler tablosu-

nun bu bölümünde gerçekten de bir "kararlılık adası" bulunup bulunmadığını belirlemeye çalışıyorlar.

Bu adanın incelenebilmesi için radyoaktif çekirdek demetleri temel araç konumunda. Nedeni, de en kararlı süper ağır çekirdeklerin, hafif elementlere göre nötronca daha zengin olma eğilimi taşımaları. Şimdilerde ağır çekirdek oluşturmanın standart yöntemini izleyerek görece hafif iki kararlı çekirdeği birleştirmek, nötronca fakir ve dolayısıyla kararsız bir süper ağır çekirdek ortaya çıkarıyor. Nolen, "şimdiye kadar oluşturulan süper ağır çekirdekler, öngörülen kararlı bölgenin en dibinde, yarılanma ömürlerinin hâlâ çok kısa olduğu yerde bulunuyorlar" diyor. Araştırmacıya göre, öngörülen kararlı bölgenin ortalarına tırmanılabilse, yarılanma ömürlerinin süreleri günlerle, hatta yıllarla ölçülebilecek. Nolen'e göre "Varolan tesisler, plajdan ayrılarak kararlılık adasının ortasına gidebilmeye uygundur"



değil; bir RNB tesisinde oluşturulacak nötronca zengin bir çekirdek demeti, bizi bu adaya götürebilecek tek araç".

Kararlılık adasının incelenmesi, kuşkusuz birçok fizikçi için büyük bir kuramsal keşfin heyecanı anlamı taşıyor. Ancak RNB araştırmalarının başka hedefleri, daha pratik sonuçlar da sağlayabilir. Örneğin, yoğun enerjili nükleer piller. Atoma, elektronlarından birini hareketlendirecek bir enerji yüklemesi yaptığınızda, kararsız hale gelen atom bu fazla enerjisini bir an önce boşaltıp daha düşük bir enerji konumuna düşmek eğilimine girer. Bir atom çekirdeği de enerji yüklenebilir. Üstelik çok daha büyük ölçeklerde. Nedeni, çekirdek içindeki parçacıkları bir arada tutan kuvvetlerin, elektronları çekirdeğe bağlayan kuvvetten çok daha

güçlü olması. Yüklenen enerjiye, çekirdeğin dönme (spin) hızını arttırabilir. Bu enerji ve dönme hızında ortaya çıkartabileceği artış, normal olarak çekirdek bir foton yayımladığında hemen yitirilir. Ancak doğada bulunan bir izotop, tantalum-180, milyarlarca yıl önce bir süpernovada oluşup enerji yüklendiğinde dönmesi öylesine hızlanmış ki, enerjisini yalnızca bir foton yayımlayarak yitirmesi olanaksız. Dolayısıyla tantalum-180, neredeyse sonsuza kadar sürecek bir yüksek enerji durumunda bulunuyor. Yaşamı öylesine uzun ki, ölçmek bile olanaksız. Surrey araştırmacısı Walker, "bu doğadaki tek hız kapanı" diyor.

Ancak araştırmacılar, laboratuvarlarında böylesine kalıcı olmayan hız kapanları da ortaya çıkarabilecek durumdadır. Bunlardan biri, tantalum-180'in komşusu olan hafniyum-178. Bu elementin yarılanma ömrü 31 yıl olan hızlanmış dönmesi, bozduğunda, bir gama ışın demeti biçiminde 2,4 milyon elektronvolt enerji yayabiliyor. Üstelik izotopun düştüğü en düşük enerji konumu kararlı oluyor. İlke olarak bu hız kapanları, radyoaktif artık sorunu olmayan bir tür depolanmış nükleer enerji demek. Walker, pratik bir uygulamanın, yalnızca bir kilo ağırlığında bir kutu içinde uzaya götürebileceğiniz ve aracınızın beş yıllık enerji gereksinmesini sağlayabilecek bir süper akü olabileceğini söylüyor. Gerçi depolanmış enerji, tanımı gereği bırakılması kolay olmayan bir enerji türü. Ancak Walker, RNB'lerin daha kullanışlı hız kapanları yapabileceği görüşünde. Şimdilik yapılabilenler, kuramda öngörülen potansiyelin epeyce gerisinde. Bununla birlikte araştırmalar, bir lazer ışın demeti kullanılarak depolanmış fazla enerjinin kolaylıkla boşaltılabileceği hız kapanları yapılabileceğini de gösteriyor. Bu tür araçlar için gerekli malzemenin, hatta çok daha fazlasının, gelecek kuşak RNB makinelerince sağlanacağı umuluyor. Aynı makineler ayrıca çekirdek yapılarını inceleyen araştırmacılara, çekirdek içindeki parçacıkların nasıl fukurdayıp kaynadığını, hatta zaman zaman taşıdığını gösterebilecek.

Watson, A., "Beaming Into the Dark Corners Of the Nuclear Kitchen", *Science*, 1 Ekim 1999
Çeviri: Raşit Gürdilek