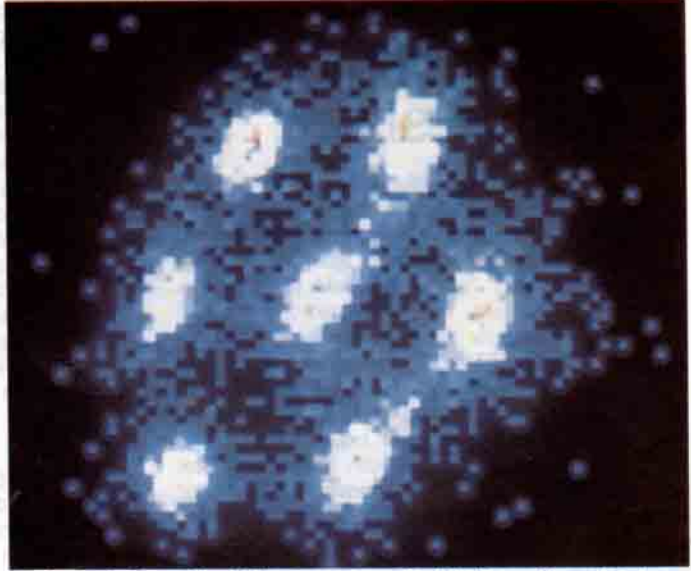


İYONLARIN TUZAKLANMASI



Fizikçiler, birkaç yıldır, birkaç iyonu, gerçek elektrik tuzaklarında tutmayı başarabiliyorlar. Daha da iyisi, iyonları laser ışığı ile aydınlatarak, onların, tek tek fotoğraflarını çekebiliyorlar. İyonlar, yeterince soğutulmuşlarsa, kristallere benzeyen, düzenli geometrik desenler oluşturmak üzere sabit konumlara yerleşirler. Fotoğraflarda, iki, dört ve yedi iyonun oluşturduğu yapılar görülüyor. İyonlar arasındaki uzaklıklar, yaklaşık 20 μm (mikrometre = 10^{-6}m)dir; bu da, doğal kristallerdeki uzaklıklardan çok büyüktür. Ayrıca, tuzağın yapı özellikleri nedeni ile, iyonlar, her zaman aynı düzlem üzerine yerleşirler.

1989 Yılı Nobel Fizik Ödülü'nü, "iyonların tuzaklanması" konusundaki araştırmaları ile Hans Dehmelt ve Wolfgang Paul adlı bilim adamları ve "modern atom saatleri" konusundaki araştırmaları ile Norman Ramsey adlı bilim adamı paylaştılar. Her iki konu da, kesin ölçüm ile ilgilidir.

Yard.Doç.Dr. Hanaslı GÜR*

İyonlaştırılmış birkaç atomun, küçük bir uzay bölgesinde saatlerce hatta günlerce hareketsiz tutulması, içinde elektrik ve manyetik alanların bulunduğu mik metal kutulardan oluşan iyon tuzakları ile, düşmaktan çıkmıştır. Şimdi araştırmacılar, tek bir iyonu

ayırmayı(yalıtmayı) ve onu bir laser ışığı ile aydınlatarak görmeyi bile başarabiliyorlar. Daha da iyisi, bu iyonları soğutmayı da yakınlarda başardılar; böylece iyonların ısı (termik) hareketlerini azaltarak, onları, kristallere benzeyen düzenli yapılar oluşturacak biçimde dondurabildiler. Bu da, maddenin, atomların atomlara, iyonların iyonlara eklenerek nasıl düzenlendiğini gözleme imkânı sağladı.

MADDENİN YAPISINI ANLAMAK

Kuşkusuz, maddenin yapısını derinlemesine anlamak için, onun temel öğelerini, yani atomlarını incelemek gerekir. Ancak genellikle, bir tek atomun yapı özelliklerini, çevre etkilerinden ayırmak çok zordur. Gerçekten, katı ve sıvılarda, atomlar, komşuları ile kuvvetlice etkileşirler ve ortak bir davranış gösterirler; gazlarda ise, atomların hiç durmak bilmeyen ısı kökenli düzensiz hareketleri(Brown hareketi), onların, birbir-

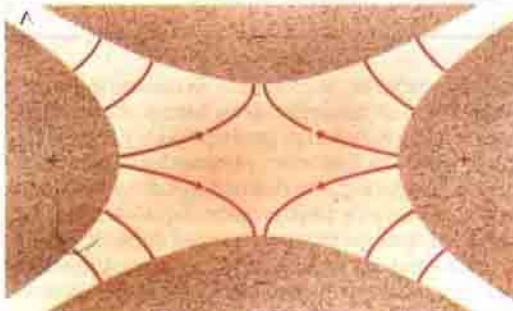
* A.Ü. Fen Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü - ANKARA .

leri ile sıkça çarpışmalarına neden olur; bu ise, atomların yapısını, az da olsa, bozar. Bu duruma çözüm olarak düşünülmüş olan, iyice seyreltilmiş bir gazda ya da serbest uçuşlu (içindeki atomları birbirlerinden yeterince uzak) bir atom demetinde ise, atomlararası çarpışmaların önemli ölçüde azaltılabildiği olmasına karşılık, yine de, çözülemez gibi görünen bir sorun vardır: Atomlar çok hızlı (birkaç yüz m/s büyüklüğündeki hızlarla) hareket ettiklerinden, özel bir atomu, onu izlemek ve yakından incelemek üzere yerelleştirmek (lokalize etmek) imkânsız olur. Aslında fizikçiler, birkaç on yıldır, böyle atom topluluklarında duyarlı deneyler yapmayı ve kuantum mekaniğinin büyük yasalarını doğrulamayı başarabiliyorlar. Ancak yine de, yalnızca, içindeki parçacık sayıları hiç de az olmayan parçacık toplulukları üzerinden "ortalama alınmış" gözlemleri yapabiliyorlar. Oysa, bir tek atomun ya da az sayıda atomun nasıl davrandığının sırlarını çözmek; bu sonsuz küçük sayıdaki parçacıkların, rastgele bir davranış mı ya da belirli bir düzenlilik mi gösterdiklerini anlamak için, atomları çok küçük bir uzay bölgesine kapatmak, başka deyişle onları tuzaklamak gerekir.

Bir atomu, kendisine dokunmadan, verilen bir uzay bölgesine kapatmak kolay değildir; çünkü atomlar, elektriksel ya da manyetik kökenli uzaktan etkilere oldukça az duyarlıdır. Oysa, atom iyonlaştırılmış ise, yani ona bir elektrik yükü kazandırılmış ise, işimiz kolaylaşır. Acaba bir atom nasıl iyonlaştırılır? Bunun için, atomun doğal elektron topluluğuna, elektron eklemek ya da bu topluluktan elektron çıkarmak yeterlidir. Böylece oluşan iyon, manyetik ve elektriksel etkilere çok duyarlıdır. Dolayısı ile, elektromanyetik çekme ve itme etkilerini birleştirerek, iyon, küçük bir uzay bölgesine kapatılabilir.

İYONLARI TUZAKLAMAK

İyonları tuzaklama düşüncesi yeni değildir. İlk iyon tuzağını, 1936'da F.M. Penning tasarlamıştır. Fede-



İyonları küçük bir uzay bölgesine kapatmak için en uygun yöntem, elektrik kuvvetlerinden yararlanır. Bu kuvvetler, bir elektrotlar takımı ile oluşturulur; çizimde görülen pembe çizgiler, kuvvet çizgilerini gösteriyor. Elektrotlar öyle düzenlenmelidir ki, oluşturdıkları elektrik alanları, iyonların, düzenek merkezinden çok uzaklara gitmesini önlesin.

ral Almanyalı bilim adamı Wolfgang Paul ise, 1950'li yıllarda, ikinci tür bir iyon tuzağı bulmuştur. Günümüzde kullanılanlar da, hâlâ bu öncülerin geliştirdiği ilkelere dayanmaktadır. İlk deneyler, binler ve milyonlar basamağındaki çok sayıda iyonla yapıyordu; bu yüzden tüm sırları açığa vurmuyordu. Yıllar geçtikçe, araştırmacılar, tuzaklanan iyon sayısını birkaçı indirmeyi amaçladılar. 1978'de, Federal Almanyalı P.Toschek ile ABD'li Hans Dehmelt ve arkadaşları, bir tuzak içinde, birkaç baryum iyonundan oluşan bir iyon bulutu elde etmeyi başardılar; zaman zaman, iyon sayısının bire indiği bile oluyordu. Bir yıl sonra, deneylerini daha da kusursuzlaştırmışlardı; artık, ışığın, bir iyondan mı, iki ya da üç iyondan mı geldiğini kesinlikle belirleyebiliyorlardı.

Bilim adamlarının merakla bekledikleri deney sonuçları, hiç de şaşırtıcı değildi: Bu uç koşullarda (çok az sayıda iyon bulunan) geçerli olması gereken, atomların foton yayınlanması ya da soğurması gibi tümüyle kuantum mekaniksel olaylar, deney sonuçları ile doğrulanıyordu.

Deney, daha da geliştirilebilirdi: Bir tuzaktaki birkaç iyonu uzun süre kolayca gözlemlemek için, onların ısı (termik) hareketlerini durdurmak, kısacası onları soğutmak gerekiyordu. Ancak, 1987'de yapılan deneyler şaşırtıcı bir sonuç verdi: Soğutma sonunda, birkaç iyondan oluşan düzensiz bir buluttan yayınlanması beklenen ışığın davranışının tümüyle değiştiği gözlemlendi; tuzağın içinin çekilen fotoğrafları, iyonların, kristallere benzeyen düzenli yapılar verecek biçimde dizildiklerini gösterdi.

Bilim adamları, tuzağın içindeki koşullar değiştirilince, "kristaller" in nasıl oluştuğunu; nasıl çözünüp, sonra yeniden biraraya geldiğini ve bunların nedenlerini açıklayabilmelidiler. Gözlemlere göre, bu olay,



bir katı fazdan (kristal) bir gaz fazına (bulut); başka deyişle, düzenden karmaşaya(kaosa) geçiş olarak düşünülebilir. Acaba bu kavramlar, bu alışılmamış duruma da, gerçekten uygulanabilir mi ya da nasıl uygulanabilir? İyonların davranışını yöneten işleyişi anlayabilmek için, öncelikle, tuzağın kendi çalışmasını incelemek gerekir.

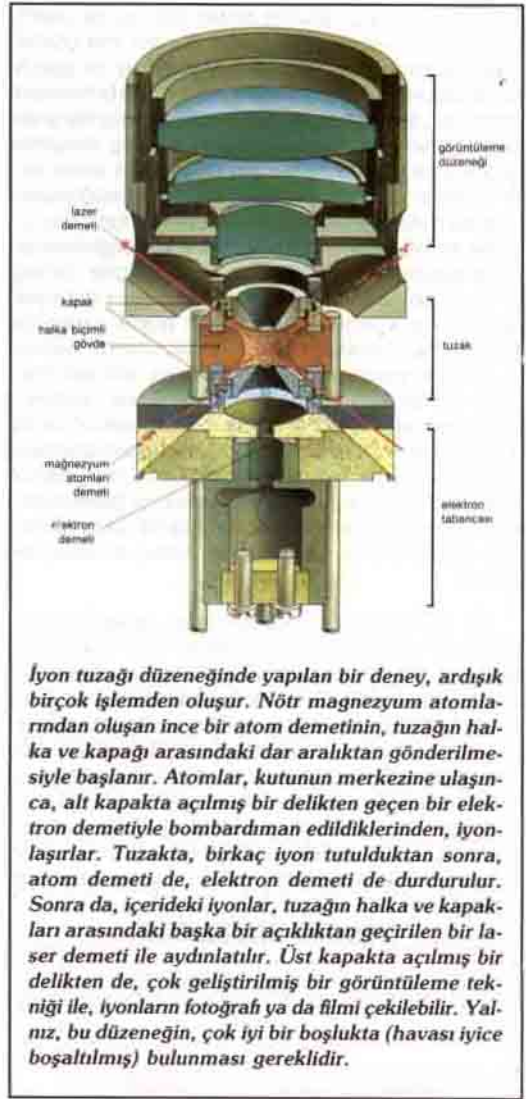
İYON TUZAĞI NASIL ÇALIŞIR?

İyon tuzağının temel parçası, içinde iyonlara bir elektrik kuvvetinin etki ettiği elektrik yüklü metal bir kutudur. Kutu, alt ve üstten çukur bakır kapaklarla kapatılmış, kendi de bakırdan bir halkadır. Halka ve kapaklar, birbirlerine tam dokunmayacak biçimde yerleştirilmişlerdir; böylece, farklı gerilimlerde tutulabilirler.

Halkaya, bir artı(+) elektrik gerilimi; kapaklara ise, bir eksi(-) elektrik gerilimi uygulayalım ve kutuya konulmuş artı(+) yüklü bir iyonun nasıl davranacağını inceleyelim. Artı gerilimdeki halka, iyonu, her doğrultudan, halka merkezine doğru iter ve iyonun yatay hareketini büyük ölçüde kısıtlar. Acaba iyonun düşey hareketi nasıldır? Eksi gerilimdeki kapaklardan biri iyonu yukarı çekerken, öbürü aşağı doğru çeker; iyon, halkanın tam merkezindeyken, bu etkiler birbirini dengeler. İyon, başlangıçta merkezden uzakta ise, kapaklardan biri iyonu, öbürüne göre, çok az farkla da olsa, daha fazla çeker. Böylece iyon, merkezden yukarıya ya da aşağıya doğru gider; dolayısıyla, iyonun konumu kararlı değildir. Öyleyse, neden kapaklara da, iyonu itici birer kuvvet uygulayacakları biçimde, halkanın ile aynı artı gerilimi uygulamayalım? Bu, iç bölgedeki bileşke elektrik alanının sıfır olduğu "Faraday kafesi" ne benzermektedir. Tek farkı, Faraday kafesinde, yüzeyin her noktasının aynı gerilimde olmasına karşılık, iyon tuzağında, halka ve kapaklar farklı gerilimlerde tutulabilir. Halkaya ve kapaklara uygulanan gerilimlerin işaretleri de kendi aralarında değiş tokuş edilebilir. Bu durumda ise, iyonun hareketi düşey doğrultuda kısıtlanmış olur; yatay düzlemdeki hareketi ise, kararsızdır.

İyon tuzağında kararlı bir hareket elde edebilmek için, Penning'in 1936'da ve Paul'un 1958'de önerdikleri iki tür değişiklik yapılabilir. Penning'in önerisi, bir manyetik alanın yararlanmaktır. Gerçekten, tuzak düzeni, bir miktarını oluşturduğu düşey bir manyetik alana yerleştirilir; kapaklara artı, halkaya ise, eksi birer elektrik gerilimi uygulayalım. Önceki tartışmalarımızdan, iyonun düşey doğrultuda hareket edemeyeceğini biliyoruz. Acaba, iyonun yatay düzlemdeki hareketi nasıldır? Manyetik alanın varlığı, iyonun yatay düzlemde kalmasını sağlar; çünkü iyonun, manyetik alanca belirlenen eksen etrafında daire biçiminde yörüngeler izlemesine neden olur. Bu da, elektrik kuvvetlerinden gelen kararsızlığı dengeler. Böylece, Penning tuzağı, iyonu, uzayın üç doğrultusunda da kapatma amacımızı gerçekleştirmiş olur.

Paul'un önerisinde ise, yalnızca elektrik alanları kullanılır; yalnız bu kez, elektrik alanları, zamana bağlı ola-



İyon tuzağı düzeninde yapılan bir deney, ardışık birçok işlemden oluşur. Nötr magnezyum atomlarından oluşan ince bir atom demetinin, tuzağın halka ve kapağı arasındaki dar aralıktan gönderilmesiyle başlanır. Atomlar, kutunun merkezine ulaştıca, alt kapaktaki açılmış bir delikten geçen bir elektron demetiyle bombardıman edildiklerinden, iyonlaşırlar. Tuzakta, birkaç iyon tutulduktan sonra, atom demeti de, elektron demeti de durdurulur. Sonra da, içerideki iyonlar, tuzağın halka ve kapakları arasındaki açıklıktan geçirilen bir lazer demeti ile aydınlatılır. Üst kapakta açılmış bir delikten de, çok geliştirilmiş bir görüntüleme tekniği ile, iyonların fotoğraf ya da filmi çekilebilir. Yalnız, bu düzeniğin, çok iyi bir boşlukta (havası iyice boşaltılmış) bulunması gereklidir.

rak hızla değişirler. Bu durumda, iyonun hareketi, sabit elektrik alanları durumundakine benzer olarak incelenecektir: Önce, halka artı gerilimdeyken, kapaklar eksi gerilimde olsun. Gerilimler, zamanın fonksiyonu olduğundan, başlangıçta merkezde bulunan iyon, merkezden uzaklaşmaya başlayacaktır; bir süre sonra da, halka ve kapak gerilimlerinin işaretleri değiş tokuş olunca, halka eksi ve kapaklar artı gerilime geçeceklerinden, iyon, kapakların itme etkisi ile merkeze gelerek, yatay doğrultuda uzaklaşmaya başlayacaktır. Yine gerilimlerin işareti değişecek, hareket düşey doğrultuya geçecek ve böyle sürüp gidecektir. Böylece de iyon, kutunun içindeki küçük bir bölgede hareket etmeye zorlanmış ya da tuzaklanamış olacaktır. Paul'un yöntemi, Penning'inkinden daha uygundur; çünkü tuzaklanmış iyonların durdurulmasına da izin verir. Oysa, Paul'un yöntemindeki daire biçimindeki hareket durdurulamaz.



Geçen sayıda verdiğimiz üstteki fotoğraf, protista grubundan, bitki benzeri bir hayvan olan öglenanın Raster Elektron Mikroskobu ile büyütülmüş halidir.

Öglenanın büyük bir kısmı, durgun sularla yaşayan serbest canlılardır. Diğerleri kalan kısmı ise, bir yere tutunur ve koloni halinde yaşarlar. Bazı türleri asalaktır. Öglenanın bazıları ağız bulunmadığı için besinlerini yalnız erimiş olarak alabilirler. Ağızları olanlar ise, tanecikleri yutup sindirebildiği gibi erimiş besinleri de alabilirler.

Bu sayıda da yandaki iki fotoğrafı ilginize sunuyoruz; bakalım bilebilecek misiniz?



İyonun, tuzağın içine nasıl konulacağını da araştıralım: En basit yolu, iyonu, tuzağın içinde oluşturmaktır; örneğin, tuzağın içinden geçen bir atom demeti, hızlı elektronlarla bombardıman edilebilir. Elektronların çarpması ile, genel olarak, atomlar birer elektron yitirirler ve artı iyonlar oluştururlar. Tuzaklanmış bile olsalar, bu iyonların kutuya girerken taşıdıkları yüksek hızları fazla değişmez; böylece tuzağın içindeki doğru hareketleri de hızlı olur. Başka deyişle, iyonların büyük bir kinetik enerjisi vardır; dolayısıyla, sıcaklıkları da yüksektir; çünkü bir atomlar topluluğu için, sıcaklık, kinetik enerji ile doğru orantılıdır. Ne yazık ki, bu sıcaklık, bizi amacımızdan uzaklaştırır: iyonların hızlı ve denetlenmesi zor hareketi, onların gerçek içyapı özelliklerini gizler ya da değiştirir. Öyleyse, iyonları kinetik enerjilerinden kurtarmak, yani onları soğutmak gerekir. Ancak bu soğutma, iyon tuzağı düzeneğini buza, sıvı azota ya da sıvı helyuma koymakla yapılamaz; çünkü iyonlar, tuzağın çeperlerine hiç değmemektedir. İşte bu nedenle, soğutucu olarak, bir laser kullanılacaktır.

Gerçekten, laserin yayınladığı fotonlar, iyonlara bir "ışınım basıncı" uygular; bu da, iyonların hareketini değiştirir: Laserin frekansı iyi ayarlanabilirse, hareketli bir iyon, kendine çarpan bir fotonu soğurabilir ve kendi de frenlenmiş olur; çünkü momentumu, fotonun momentumu kadar azalır. Ancak bu yavaşlama, çok azdır; çünkü fotonun taşıdığı momentum çok küçüktür. Dolayısıyla, iyonu yavaşlatmak için çok sayıda çarpışma gerekir. Acaba iyon, bu kadar fotonu nasıl soğurabilecektir? İyon, her çarpışmada bir foton soğurarak, taban durumundan uyarılmış bir duruma geçer; biraz sonra, soğurduğu fotona benzeyen bir foton yayınlayarak, yeniden taban durumuna döner. Böylece, laserin yayınladığı çok sayıda fotonu soğurabilir.

Bu konuya, iyonun tuzak içindeki durumunu incelemek üzere, dergimizin gelecek sayısında da devam edeceğiz. □

KAYNAK: Le piègeage des ions, W.Quint, W.Schleich, H.Walther, **La Recherche**, Ekim 1989, No. 214, sayfa 1194-1203.