



Moleküllerin Buz Dansı

UZUN araştırmalar sonucunda fizikçiler atomları çok düşük derecelere soğutmanın yollarını geliştirdiler. Bu çalışmalar ilginç ve heyecan verici, bazen de önceden tahmin edilemeyen sonuçlar doğurdu. Atom interferometrisi, hassas spektroskopi, çok sayıda atomun tek bir atommuş gibi uygun hareket etmesini sağlayan Bose-Einstein yoğunlaşması ve atom lazeri bunlar arasında. Deneyciler aynı şeyi şimdi moleküller için yapmak istiyorlar. Moleküller atomlara göre daha karmaşık bir yapıya sahip olduklarından, soğutulmaları da atomlara oranla daha büyük zorluklar içeriyor. Tüm zorluklarına karşın bazı deneyci gruplar, molekülleri milikelvin sıcaklıkların altına soğutarak, onları bir kapana içine kısıtıp manipüle etmenin yollarını arıyorlar. (1 Kelvin = -237°C)

Bu alandaki son gelişme Hollanda'daki Nijmegen Üniversitesi, Plazma Fiziği Enstitüsü'ndeki bir grup araştırmacı tarafından gerçekleştirildi. Bu grup, molekülleri 350 milikelvin sıcaklığın altına soğutmaya ve onları tek bir kuantum düzeyinde, santimetreküpde yaklaşık bir milyon molekül olacak yoğunlukta, bir kapana içine kısıtıpmayı başardı.

Kısıtılmış moleküllerde ulaşılmak istenen üç amaç var: moleküllerin yer değiştirme hareketlerinden kaynaklanan sıcaklıklarını milikelvinlerin altına düşürmek, çok sayıda molekülü soğutmak ve molekülleri tek bir, tercihen en düşük enerjili dönme-titreşme durumuna getirmek. En iyi yöntem tabii ki

bu üç amacı birden, herhangi bir molekül için başarabilecek olanı. Geçen birkaç yıl içinde araştırmacılar değişik yöntemler kullanarak bu üç amaçtan bazılarını ulaşma yönünde önemli mesafeler kaydettiler. Bir yöntem, alkali dimerleri (basit yapıları bir moleküle monomer, birbirine eş iki molekül ya da monomerin bir araya gelerek oluşturduğu moleküle dimer, çok sayıda eş ya da benzer monomerin bir araya gelmesiyle oluşan büyük moleküllere ise polimer adı verilir) milikelvin sıcaklıkların altına soğutmaya başarıyor. Ancak, yöntem bunu çok sayıda molekül için yapamıyor ve molekülleri en düşük dönme-titreşme durumuna getiremiyor. Bir başka yöntem, paramagnetik molekülleri en düşük dönme-titreşme durumuna getirirken, sıcaklığı birkaç yüz milikelvinin altına indirmeyi başaramıyor. Hollandalı grupsa, elektrostatik bir yöntem kullanıyor. Bu yöntemle *elektrik dipol momenti* yeterince büyük, bir başka deyişle artı ve eksi yükleri yeterince uzakta olan her molekülü en düşük dönme-titreşme durumuna getirmek mümkün olacak gibi görünüyor.

Peki araştırmacılar molekülleri neden bu derece soğutmak istiyorlar? Molekülleri soğutmadaki amaçları, atomları soğutmadaki amaçlarından

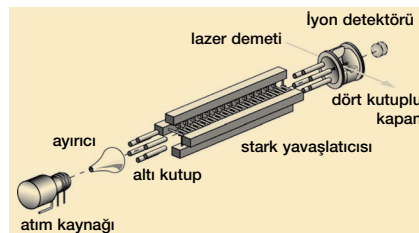
farklı değil. Bunlardan biri hassas spektroskopi. Yeterince soğuk olmayan moleküllerde harekete (yer değiştirme, dönme ve titreşme) bağlı etkiler, molekülün spektral çizgilerinin yeterince hassas ölçülmesini engelliyor. Bir başka amaçsa, aşırı soğuk molekülleri çarpıştırarak molekülün kuantum yapısı hakkında daha iyi bilgiler edinmek. Ayrıca aşırı soğuk moleküller kullanarak temel parçacıkların elektrik dipol momentleri ile ilgili çalışmalar yapmak da mümkün. Bir başka olası araştırma alanıysa, molekülleri elektromanyetik alan aracılığıyla kontrol etmek ve yönlendirmek. Tabii ki moleküllerin Bose-Einstein yoğunlaşmasını oluşturmak da amaçlar arasında. Bütün bunlardan daha çekici olansa, daha önceden bilinmeyen ve tahmin edilemeyen yepyeni olguların ortaya çıkma olasılığı.

Atomların kapana kısıtılmasındaki en önemli teknik, lazer yardımıyla soğutma oldu. Fakat moleküllerin enerji spektrumu atomlara göre çok daha karmaşık olduğu için bu teknik molekülleri soğutmada faydalı olmadı. Dolayısıyla, araştırmacılar molekülleri yavaşlatmak için başka yöntemler geliştirmek durumunda kaldılar. Hollandalı grup, kutupsal yapısı olan molekülleri zaman içinde değişen ve homojen olmayan bir elektrik alanı kullanarak soğutmaya çalışıyor.

Elektrostatik Yöntem

Hollandalı grubun molekülleri hem soğutmak hem de kapana kısıtırmak için kullandığı yöntem, Stark etkisine dayanıyor. Stark etkisi, elektrik dipol momenti olan moleküllerin bir elektrik alanı ile etkileşmesi sonucunda enerji düzeylerinde meydana gelen kaymaya verilen ad.

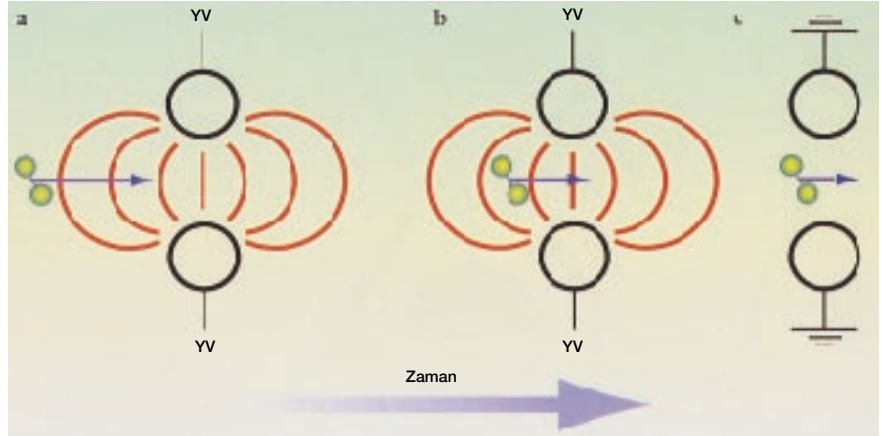
Zaman içinde değişen bir elektrik alanında moleküllerin yavaşlamasının ilkeleri şekil 1'de verilmekte. Yavaşlatılacak moleküllerden oluşan bir atım, bir çift elektrodta doğru yol alırken elektrodlar arasında bir elektrik alanı yaratılıyor. Elektrik dipol momentleri elektrik alanına ters yönde olan moleküller, elektrik alanının daha az yoğun olduğu yerlere gitmek isterler. Bu da iki elektrodun ortasındaki alan yoğunluğunun yüksek olduğu yere gitmekte



olan moleküllerin kinetik enerji kaybedip yavaşlamalarına neden olur. Eğer elektrik alanı olduğu gibi kalırsa, moleküller tekrar kinetik enerji kazanırlar; yani tekrar hızlanırlar. Bu yüzden deneyciler, atım içindeki moleküller iki elektrodun merkezine yakın oldukları zaman; yani hızları en düşük olduğu anda elektrik alanını kapatırlar. Moleküller böylece birinci elektrod çiftinden bir miktar yavaşlamış olarak çıkarlar. Aynı şey defalarca tekrarlanır. (Hollandalı grubun yaptığı deneyde, yukarıda anlatılan işlem 63 kere tekrarlanır.) Elektrik alanlarının zamanlaması, bu işlem için çok büyük bir önem taşır ve sadece önceden belirlenmiş bir enerji düzeyindeki moleküller elektrik alanının açılıp kapanması ile aynı fazda olacaklardır. Dolayısıyla, işlem sonunda sadece istenen enerji düzeyindeki moleküller elde edilmiş olacaklardır.

Elektrostatik basamaklar sırasıyla açılıp kapanacakları için moleküllerin sürekli değil atım olarak gönderilmesi gerekir.

Hollandalı grup geçen sene, geliştirdikleri bu Stark yavaşlatıcısını kullanarak karbon monoksit moleküllerini yavaşlatmayı başardı. Haziran ayında yayınladıkları bir makalede bu sürecin matematiksel anlatımını verdiler. Moleküllerin kapana kısırılması çalışmalarında, hidrojen atomları döteryum atomlarıyla değiştirilmiş amonyum moleküllerini (ND₃) kullandılar. Normal amonyum molekülleri (NH₃) yerine döteryumlu amonyum molekülleri kullanma nedeni, normal amonyum moleküllerinin en uygun elektrik alanı değerlerinde doğrusal olmayan Stark etki-



Şekil 1 Elektrik alanları molekülleri yavaşlatıyor. a) Dipolar bir molekül (yeşil) elektrod- lar arasındaki elektrik alanına (kırmızı çizgiler) girince Stark etkisine uğrar. b) Molekül- ler merkeze yaklaştıkça elektrik alanına ters yönde dipolu olan moleküller daha kısa hız vektörünün (mavi ok) sembolize ettiği gibi yavaşlarlar. c) Molekül merkeze ulaştıkça elektrik alanı kapatılır dolayısıyla molekül ortamı terkederken tekrar hız kazanamaz. Yüksek voltaj kaynağı bağlantıları +YV ve -YV olarak gösterilmiştir.

si göstermeleriydi. Yavaşlatmak istedikleri moleküllerse en düşük enerjili titreşim durumuna sahip amonyum molekülleriydi. Bu durumdaki moleküller bir atımdaki bütün amonyum moleküllerinin sekizde birini oluşturuyorlardı.

Yavaşlatılmış molekülleri kapana kısırmak için Hollandalı araştırmacılar, molekül atımlarını elektrostatik bir kapana doğru yönlendirdiler. Moleküller kapana yaklaşırken kapanın içinde, şekil 2 de görüldüğü gibi, moleküllerin hareket ettikleri yönde yoğunluğu artan bir elektrik alanı uygulandı. Sanki moleküller bir tepeye tırmanıyorlarmış gibi yavaşladılar, çoğu durdu ve hatta geri döndü. Tam bu anda elektrik alanı minimumu merkezde olan simetrik bir alan haline çevrildi. Böylece moleküller bu elektrik alanının içine kısırılmış oldular. Kapandaki moleküllerin küçük

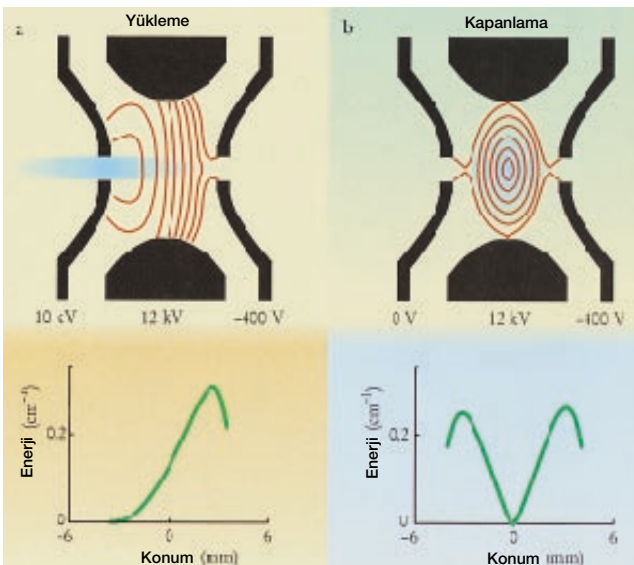
bir kısmını iyonize edip, onlardan gelen ışınımı ölçerek santimetreküpde yaklaşık bir milyon molekül olduğunu belirlediler. Moleküllerin toplam hacmiyse 0.25 cm³ olarak ölçüldü.

Kullanılan kapalı bir kuyu gibi düşünülebiliriz. Bu kuyudan kurtulabilmek için bir molekülün hızının belli bir değerden fazla olması gerekir. Hollandalı grubun kullandığı kapanda bu değere karşılık gelen sıcaklık 350 mK. Moleküller bu kapandan çıkamadıklarına göre sıcaklıkları 350 mK den düşük olmak durumunda. Hollandalı grup henüz bu sıcaklığı doğrudan ölçmek için bir yöntem geliştirebilmiş değil. Ama kapalı içindeki moleküllerin sıcaklıklarının 2mK kadar düşük olabileceğini tahmin ediyorlar. Moleküllerin kapalı içinde kalma süreleri ise 0.24 saniye.

Hollandalı grup, umut veren bu tekniği daha da geliştirmek için çalışıyor. Amaç, kapalı içindeki moleküllerin yoğunluğunu santimetreküpde bir milyar düzeyine çıkarmak. Araştırmacılar bunu elektrik alanı yoğunluğunu artırarak, daha fazla elektrostatik basamak koyarak, kapalı yavaşlatıcıya daha yakın koyarak başarabileceklerini düşünüyorlar. Bir başka amaçları olan moleküllerin kapalı içinde kalma sürelerini uzatmayıysa daha iyi bir vakum ortamı oluşturarak sağlayabilecekleri kanısındalar.

Bakalım molekülleri daha ne kadar soğutacaklar ve bu çalışmalar yepyeni olgulara yol açacak mı?

Levi, B. G.,
"Hot Prospects For Ultracold Molecules"
Physics Today, Eylül 2000
Çeviri: Yusuf İpekoğlu



Şekil 2 Elektrik alanından kapalı a) Kapana giren dipolar moleküller (mavi bulut) keskin bir şekilde değişen bir elektrik alanının (kırmızı çizgiler) etkisi altında kalırlar. Elektrik alanına ters yönde dipol momentli olan moleküller yavaşlar. Altta grafik potansiyel enerji konumun fonksiyonu olarak vermektedir. b) Moleküller kapanın içine girince alan konfigürasyonu (üstte) molekülleri kısıran bir potansiyel kuyusu (altta) oluşur.