

# DİAMANYETİK YÜKSELME

İki parmak arasında havada duran bu küçük mıknatıs, şaşırtıcı bir fiziksel olay olan diamanyetik yükselmenin bir örneği. Bu deneyde, kütleçekimini yenmek için gerekli kaldırma kuvvetini, yere konmuş güçlü bir süperiletken mıknatıs sağlar. Bir mıknatısla kaldırılan diğer bir mıknatıs, yapısı gereği kararsız duracaktır; buzdolabı mıknatıslarıyla bunu doğrulayabilirsiniz. Şekildeki durumda, araştırmacının parmaklarının diamanyetikliği, mıknatısın havada kalışını kararlı hale getirecek zayıf itici kuvveti sağlar.

1930'lardan beri bilinen, manyetik alan yardımıyla cisimleri havada tutma tekniği, bugünlerde uygulama alanı bulmaya başladı

Mıknatısların bir diğerine dokunmadan karşılıklı kuvvet uygulamaları birçok çocuğun, hatta yetişkinlerin ilgisini çeken bir durum. Buradan bir adım daha atıp, bir mıknatısın uyguladığı kuvvetin diğer bir mıknatısı, yerçekimine karşın havada asılı tutup tutmayacağı da merak edilebilir. Ne yazık ki bu sorunun yanıtı "hayır". Bir mıknatısı havada asılı tutacak düzenek henüz geliştirilemedi. Manyetik alanı ayarlayarak bir mıknatısın yerçekimini dengeleyip havada belli bir konumda asılı kalması sağlanabilir; ancak en küçük bir dış etki mıknatısın dengesini bozarak düşmesine yol açar. Sistemin doğasından kaynaklanan bu denge eksikliği, 1842'de ortaya atılan ve Earnshaw Teoremi olarak bilinen bir fizik yasasıyla açıklanır. Bu teorem, elektrik ve manyetizma için geliştirilmiş Maxwell denklemlerinin doğrudan bir sonucudur.

Earnshaw Teoremi'ni anlamak için Maxwell denklemlerinde ustalaşmış olmanız gerekmez. Bilinmesi gereken

yalnızca, bir mıknatısın davranışının manyetik potansiyel denilen, potansiyel enerjiye (depolanan enerji) çok benzeyen bir kavram yardımıyla açıklanabileceği. Engibeli bir yüzey üzerinde bulunan bir bilyeyi düşünelim. Bilye, potansiyel enerjisinin en hızlı azaldığı yöne doğru yuvarlanacak ve potansiyelin minimum olduğu yerde üzerine etkiyen kuvvet sıfır olacaktır. Bunun gibi, havaya yükseltilecek bir mıknatıs da, manyetik potansiyelin minimum olduğu bir noktaya getirildiğinde havada dengeli bir şekilde asılı durabilir. Fakat Maxwell denklemleri bize, uzayın bir noktasındaki potansiyelin, bu noktayı kuşatan noktaların potansiyellerinin bir ortalaması olması gerektiğini söyler. Bu nedenle manyetik potansiyel, boş uzayda hiçbir yerde bir minimuma ulaşamaz: Daima bazı yakın noktaların manyetik enerjisi daha düşükken, bazılarının daha yüksek olacaktır.

Earnshaw Teoremi'nin açık anlamıyla karşı karşıya gelen araştırmacılar, cisimleri havaya kaldırmak için başka yollar aradılar. En yaygın taktik, zamanla değişen alanlar kullanmak;

bu alanlara Earnshaw Teoremi uygulanmıyor. Örneğin, aktif geribildirimle kaldırma yönteminde, havaya yükseltilemiş cismin konumunu ölçmek için sensörler kullanılır; bunların yardımıyla, cismin havada tutmayı sağlayacak manyetik alan tam olarak ayarlanır. Bu yöntem deneysel "maglev" trenlerinde ve aktif manyetik yataklarda onlarca yıldır kullanılmakta. İşe yarar olmalarına karşın bu sistemlerin büyük dezavantajları var: Enerji tüketirler ve görece karmaşık yapıdadırlar; yani, pahalı olup hatalı çalışmaya eğilimlidirler. Fakat, mıknatısları daha sorunsuzca yükseltmek için bir yol daha var: Farklı türde manyetik maddeler kullanmak.

## Doğru Malzeme

Üç çeşit manyetik madde vardır: ferromanyetik, paramanyetik ve diamanyetik. Demir gibi ferromanyetik maddeler sıklıkla kalıcı olarak mıknatıslanabilir; böylece, buzdolabı kapısı gibi yüzeylere yapışıp kalırlar. Kara mika [biotite] minerali gibi paramanyetik maddeler, yalnızca bir dış manyetik alana maruz bırakıldıklarında mıknatıs-

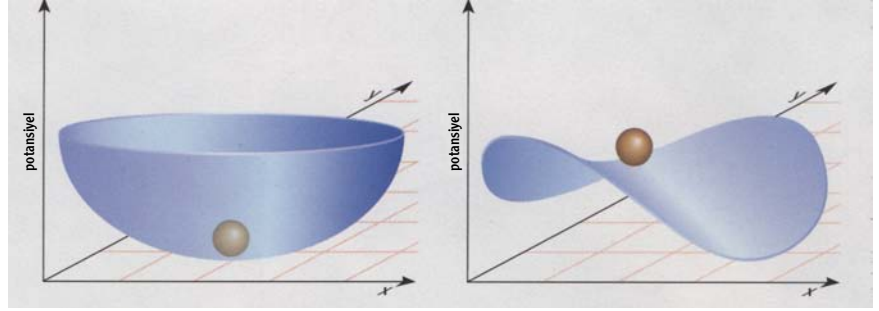
tıslanır. Her zaman, kalıcı mıknatıslara doğru çekilirler ve bu nedenle dengeli ve pasif yükselme işine yaramazlar. Diamanyetik maddelerse farklı bir şekilde davranırlar. Bunlar kalıcı mıknatısları iterler ve bu yolla havada kalma işini oldukça kolaylaştırırlar.

Basit bir atom modeli, diamanyetik maddelerin niçin böyle davrandığını açıklamaya yardım eder. Bir diamanyetik maddenin atom çekirdeklerinin birinin yörüngesinde dolanan bir elektronu düşünelim. Elektron, yüklü bir parçacık olduğundan, yörüngede dolanmasının sonucunda, akım taşıyan küçük bir tel halkaninkine gibi bir manyetik alan yaratır. Dışarıdan uygulanmış bir manyetik alan yoksa, bu elektron ve ona komşu elektronlar, sonuçta birbirini yok edecek olan rasgele yönde manyetik alanlar yaratırlar; böylece, maddenin yarattığı toplam manyetik alan sıfır olur. Ama bu maddeye dıştan bir manyetik alan uygulanırsa (örneğin, kalıcı bir mıknatıs yaklaştırılırsa) bu elektronlar, kendi yörüngelerinde dolanmalarından kaynaklanan manyetik alanın değişmesini engellemek için hızlanır veya yavaşlarlar. (Bu, elektrik ve manyetizmada Lenz Yasası olarak bilinen kuralın atomik ölçekteki türüdür.) Sonuçta, itici bir kuvvete neden olan ve uygulanan alana karşı koyan bir mıknatıslanma yaratılır.

Bu kuvvetten yararlanılarak kalıcı mıknatıslar, sabit diamanyetik maddeler üzerinde yükseltilebilir. Ya da bunun tersine, diamanyetik maddeler bir veya daha çok sayıda sabit mıknatısın üzerinde havada tutulabilir. Böyle bir gösteriyi ilk kez Alman fizikçi Werner Braunbeck, 1939'da gerçekleştirdi. Sabit bir elektromıknatıs kullanarak kuvvetli diamanyetik özellikleri olan maddelerin (bizmut, grafit) havada asılı kalmasını sağladı.

Diamanyetik yükselmenin son yıllarda bilinen diğer bir biçimi de, küçük kalıcı mıknatısların süperiletkenlerin üzerinde dengeli bir şekilde havada kalması: Süperiletkenler yalnızca mükemmel bir iletkenliğe sahip değil, aynı zamanda yüksek derecede diamanyetiklerdir.

Havaya yükselmenin bu biçimi, nasıl olur da Earnshaw Teoremi'ni çiğnemez? Bu sorunun yanıtı, Teorem'in yalnızca statik manyetik alanlara uygulanabilmesinde yatıyor. Bu tür diaman-



Kasenin dibinde duran bilye örneğindeki gibi, sistemin potansiyel enerjisinin yerel bir minimumunda, manyetik yükselme karardır (soldaki resim). Fakat, 19. yüzyılda elde edilen Maxwell denklemlerinin bir sonucu olan Earnshaw Teoremi'ne göre, manyetik potansiyeli, boş uzayda bir noktada minimum yapacak sabit bir manyetik alan yaratmak mümkün değildir; yapılacak en iyi şey, semer biçiminde bir potansiyel elde etmek (sağdaki resim). Bundan dolayı, durgun bir mıknatısın, havada kararlı olarak asılı kalmayı sağlayamayacağı uzun zamandır biliniyor. Fakat, birçok fizikçi ve mühendisin pek yakınlarda farkına vardığı gibi, diamanyetizma, cismi havaya kaldıran manyetik alanı dinamik olarak değiştirmek için basit bir mekanizma sağlar; böylece, Earnshaw Teoremi'nin sınırlamalarıyla baş etmek için bir yol sunar.

yetik yükselmelerde, havada asılı mıknatısların hareketi, kendilerini kaldıran alanı değiştirir. Örneğin, havada yüzen bir mıknatıs aşağı doğru itilirse bu, aşağıdaki diamanyetik maddenin daha güçlü bir manyetik alan yaratmasına yol açar ve böylece mıknatıs tekrar yukarı kaldırılır. Aynı şekilde, havada asılı duran mıknatıs bir dış etkiyle birazcık yukarı kalkarsa, mıknatısı havada tutan manyetik alan azalır ve yükünü aşağı çeker. Bir bakıma, diamanyetik madde, aktif geribildirimle yükselme sisteminde sensörlerin ve elektronik kontrol donanımlarının yaptığıni otomatik olarak başarır.

Böyle olağanüstü diamanyetik maddelerin egzotik bir bileşimlerinin olması gerektiği veya üretilmelerinin çok zor olduğu düşünülebilir, öyle değil mi? Hiç de öyle değil. Diamanyetik maddeler her yerdeler. Aslında, temel anlamda maddelerin tümü diamanyetiklerdir, ama ferromanyetik ve paramanyetik cisimlerde bu evrensel özellik daha güçlü manyetik etkiler tarafından maskelenir. Su, plastiklerin ve camların çoğu, birçok seramik ve metal diamanyetiklerdir. Bizmut, güçlü bir diamanyetiklerdir ve karbonun pirolitik grafit olarak bilinen bir türü, oda sıcaklığında hepsinden daha yüksek bir diamanyetikklik gösterir. Bunun nedeni, elektronlarının bazılarının, normal yörüngelerden daha büyük yörüngelerde dolması ve bu yüzden, diamanyetizma sayesinde ürettikleri manyetik alanın, diğer maddelerde üretilen alanlardan güçlü olması.

Kuvvetli diamanyetik maddeleri havaya kaldırmak diğerlerine göre daha kolay olsa da, tüm diamanyetik madde-

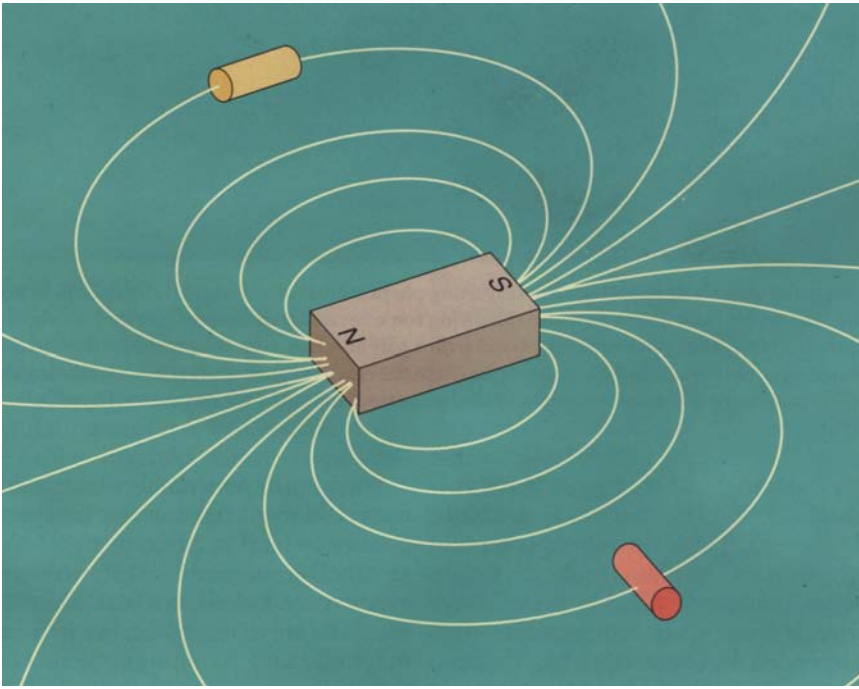
ler, yeterince şiddetli bir manyetik alan kullanılarak havaya kaldırılabilir. Manchester Üniversitesi'nden bir fizikçi Andre Geim ve çalışma arkadaşları, son yıllarda bu gerçekten yararlanarak ilginç bir deney yaptılar. Güçlü bir süperiletken mıknatıs kullanarak, aralarında canlı bir kurbağanın da bulunduğu çeşitli cisimleri havada asılı tuttular.

## Dengeleme Eylemi

Diamanyetik yükselmenin kararlı olabildiği gerçeği, bunun her zaman böyle olacağı anlamına gelmez. Bunun için uygun bir tasarım şart. Diamanyetik maddeleri havada tutmada temel fikir, cismi yerçekimine karşı destekleyecek bir geometri hazırlamak ve aynı zamanda kararlılığı sağlamaktır.

Basit bir yaklaşım, iki benzer manyetik kutbu, belli bir uzaklıkta karşı karşıya duracak şekilde düzenlemek. Böylece iki manyetik kutbun yarattığı manyetik alanlar, aralarındaki uzaklığın orta noktasında tam olarak birbirini yok eder. Bu noktada duran küçük bir diamanyetik cismin manyetik enerjisi sıfırdır. Enerjinin minimum olduğu bu noktadan herhangi bir sapma, cismin manyetik enerjisini artırır. Bu yapıyı kavramsal düzeyde anlamak kolay olsa da, pratiğe geçirmek biraz zor.

Anizotropik diamanyetik bir maddenin (diamanyetikklik derecesi uygulanan alanın yönüne bağlı olan madde) havada kalması için de başka geometriler kullanılır. Böyle bir madde olan pirolitik grafit, yüksek sıcaklıktaki bir gazın ayrışmasıyla ortaya çıkan karbon atomlarını katı bir alt tabaka üzerine biriktir-



Diamanyetizma ve paramanyetizma terimleri, çeşitli cisimlerin manyetik alan altındaki davranışından türemiştir. Dönmekte serbest olan bir paramanyetik cisim (sarı) kendisini kuşatan manyetik alan boyunca yönelirken, aynı biçimli bir diamanyetik cisim (kırmızı) alana dik olacak şekilde yönelir.

rerek oluşturulur. Yatay bir pirolitik grafit levha, düşey doğrultudaki alanlar tarafından kuvvetli bir şekilde itilirken, levha düzlemiyle aynı doğrultudaki alanlardan çok az etkilenir. Bu nedenle, örneğin yassı bir grafit halka, ortak merkezli iki manyetik halkanın, eklem yerinin üzerinde (alanın yatay olduğu yer) kolayca havaya kaldırılır. İlginç bir şekilde böyle bir grafit halka, havada yüzerken dönmekte serbesttir.

Aslında, çok hafif olduğu için grafit halkayı birkaç kalıcı mıknatıs kullanarak havaya yükseltmek oldukça kolay. Fakat, kalıcı mıknatıs kullanarak yine kalıcı mıknatısları havaya yükseltmenin şaşırtıcı bir şekilde zor olduğu görüldü. Çünkü bu mıknatıslar çok ağırdır. Bunu, birim kütle başına alan şiddetini artırmak için bir dizi küçük mıknatıs kullanarak 1992'de ilk kez gerçekleştiren bu makalenin yazarıydı.

Bir mıknatısı havaya yükseltmek için diğer bir yol da, gerekli olan kaldırma gücünü sağlayacak sabit bir başka mıknatıs kullanmak. Earnshaw Teoremi'ne göre, sabit mıknatısın havadaki kararsız bir hale getireceği kuşkusuz. Fakat, bizmut veya grafit gibi kuvvetli diamanyetik maddelerin, havada yüzen mıknatısın yakınına yerleştirildiklerinde, havada asılı kalmayı kararlı bir hale getirdikleri en azından 1950'lerden beri bilinmekte. Uygun bir dengelemeyle, plastik ve silikon gibi zayıf diamanyetik maddeler de kullanılabilir. Geim ve arkadaşları bu yakınlarda, cismi havaya kaldırmak için süperiletken bir mıknatıs, kararlı hale getirmek için de bir çift insan parmağı

kullanarak ilginç bir deney gerçekleştirdiler. İnsan parmakları su içerdiği için diamanyettir.

## Havaya Yükselmenin Sihri

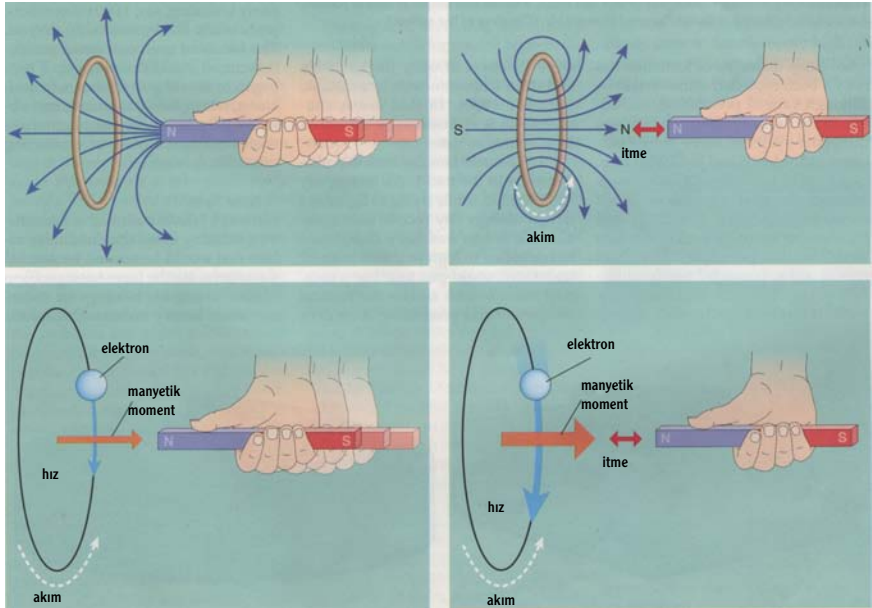
Diamanyetik yükselme, uzun yıllardır üzerinde çalışılan çarpıcı bir fiziksel olay. Fakat, şaşırtacak kadar az kişi, hatta bilim adamı ve mühendis bu konudan haberdar. Bunun bir nedeni, bilimsel icat olarak satılan birkaç düzende dışında, diamanyetik yükselme fik-

rinin henüz ticari olarak kullanılmamış olması (akademik ve endüstriyel laboratuvarlarda tasarlanan kullanışlı sensörler ve sürtünmesiz taşıma sistemlerini de içeren çeşitli fırsat sunmasına karşın).

Diamanyetik yükselmenin 1939'da ilk kez gösterilişinden, bu ilkeye dayanan kullanışlı aygıtların geliştirildiği tarihe kadar niçin bu kadar çok zaman geçti? Temel neden, diamanyetik yükselmeyi günümüzde hayli kolaylaştırmış olan güçlü neodimyum-demir mıknatısların ancak 1980'lerde keşfedilmiş olması ve 1990'lara kadar da yaygın olarak bulunamaması. Bir bakıma diamanyetik yükselme zamanından önce keşfedildi.

Bu konuyla yazar ilk kez 1980'de, doktora çalışmaları sırasında, nasıl çok küçük robot manipülatörler tasarlanabileceğini anlamaya çalışırken tanıştı. Eğer bu manipülatörler, küçük ölçeklerde, yüksek bir duyarlılık derecesiyle kontrol edilebilirse, yoğun bir sistem, modern bir üretim biriminin tüm mekanik karmaşıklığı ve titiz işleyişiyle bir araya getirilebilirdi. Böyle bir "mikrofabrika" örneğin, küçük boyutlu bileşenlerin seri üretimlerinin çok düşük maliyetlerle yapılması için, bileşimlerin analizi ve ilaç testleri için kullanılabilir.

Mühendislik açısından böyle bir girişimin önündeki engeller şüphesiz çok



Diamanyetizma, Lenz Yasası'nın atomik ölçekteki bir versiyonundan doğar. Lenz Yasası, iletken bir tel halkanın (sol üst) içinden geçen manyetik akının değişmesinin telde, bu değişime karşı koyacak bir manyetik alana (sağ üst) yol açan bir akım yaratacağını söyler. Diamanyetik maddedeki bir atomun yörüngesinde bulunan bir elektron, bir bakıma, akım taşıyan tel halka gibidir; üzerine etkiyen manyetik alana karşı koyacak şekilde hızlanır veya yavaşlar (alttaki resimler). Diamanyetik bir cisimde yaratılan bir manyetik etki, kendini her zaman itici bir kuvvet olarak gösterir.



Çeşitli şekillerde kesilmiş pirolitik grafit parçalar ilginç bir şekilde havada duruyor. Bu resimdeki düzenekte, kalıcı bir mıknatısın üzerinde asılı 120 cisim var. Aktif geribildirimli kullanarak aynı cisimleri havaya kaldıracak ve dışardan verilen güçle çalışacak bir aygıt, tasarım ve üretim açısından önemli bir mühendislik girişimi olurdu. Buradaki basit, pasif diamanyetik yükselme sistemiye bu işi daha kolay yapar.

büyük. Bu konuda en büyük sorun, santimetre boyutundaki robotları kendi başına çalışır hale getirmenin hayli zor olması; çünkü, güç, kontrol ve yön belirleme sistemlerini de üstlerinde taşımaları gerekiyor. Yazar, bu güçlüğün üstesinden gelmenin en iyi yolunun, güç ve kontrol sistemlerini başka bir yere koyup robot manipülatörlere dışarıdaki bir kaynaktan manyetik veya elektrostatik bir kuvvet uygulamak olduğunun farkına vardı. Mikrorobotların çevrede dolaşmalarını ne tür bir yatağın sağlayacağınıysa hâlâ bulamamıştı. Eski teknikler bir işe yaramazdı: Kaygan yüzeyler kullanıldığında sürtünme ve aşınma sorunu vardı; çok küçük tekerlerinse üretimi ve monte edilmesi güçtü.

Robotları havada asılı tutmak doğal bir çözüm olarak görüldü. Fakat, 1000 tane mikrorobotu havaya kaldırmanın güçlüğünü bir düşünün, hele de bunların etkileşimli olması isteniyorsa... Bir sensörün veya kontrol devresinin hatalı çalışması tüm sistemi çökterebilir. Bu yüzden yazarınız diamanyetik yükselme üzerine çalışmaya başladı. Çünkü, gerçekten yüzde yüz güvenilir ve otomatik olan bu yol, tasarlanan etkileşimli mikrorobotları mümkün hale getirebilirdi.

## Yeni Bir Dönme

Bu mikrofabrica hiçbir zaman yapılmasa da, böyle bir fabrika için gerekli olan minik robotlar üzerine kafa yorarak, mikromakineler için nasıl bir yatak sağlanacağı gibi daha temel bir so-

runu incelemeye yöneltti. Örneğin dönen motorlar, tipik olarak kayma sürtünmesiyle bir mil üzerinde döner. Bu durum aşınmaya yol açar ve motorların kontrolünü güçleştirir. Bazı mühendisler, aktif yükselmeyi kullanarak böyle bir aygıt yapmaya kalkıştılar ve farklı derecelerde başarılı oldular. Yazar da, diamanyetik yatakların ne kadar etkili olacağını incelemek için birkaç yıl önce, elektromanyetik olarak havaya kaldırılan bir dizi mıknatıs kullanarak 1 mm eninde bir mikromotor yaptı. Bu motorun havada, dakikada 21.000 dönüş yapması sağlanabili.

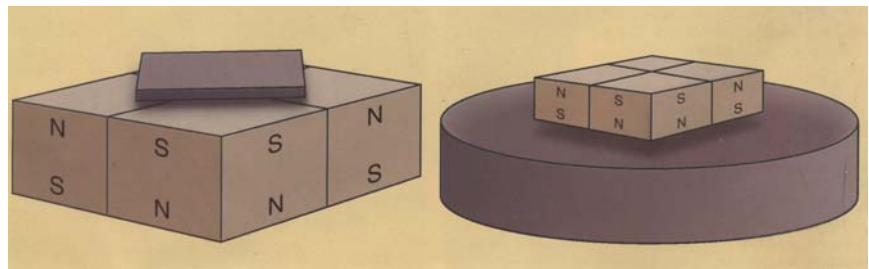
Bu başarı ve diğer araştırmacıların benzer çalışmaları, özellikle sensörlerde kullanılan "deneme kütleleri"nin [proof mass] desteklerinde kullanılanlar olmak üzere, mikromakinelerin yataklarını yıpratran birçok sorunu, diamanyetik yükselmenin çözebileceğini ortaya koyuyor. Bu tip uygulamaların sayısı çok. Örneğin mekanik jiroskop, bir yatağın desteklediği dönen ya da titreşen

bir kütleyi kullanarak dönmeyi ölçer. Benzer şekilde ivme ölçerler, tipik olarak bir yay veya esnek bir kolun desteklediği deneme kütlesi kullanılır (mühendislikte her ikisi de "yatak" anlamına gelir). Yine bunun gibi küleçekim ölçerler, küleçekimini ölçmek için yaya bağlı bir deneme kütlesi kullanılır. Her durumda yatağın yapısının, aygıtın hassasiyeti, doğru ölçüm yapması, frekans aralığı, dayanıklılığı ve maliyeti bakımından kritik bir önemi vardır.

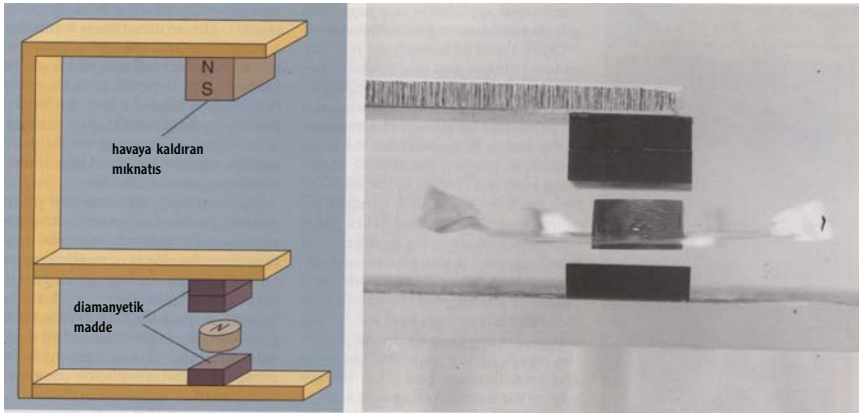
## Temiz Ortamların Yaratılması

Diamanyetik yükselme, kendine ticari sensörlerde uygulama alanı bulmadan önce bile endüstriyel "temiz odalar"da yararlı olabileceğini gösterdi. Diamanyetik yükselmeden yararlanılmasının avantajı, havaya kaldırılmış yatakların aşınmaktan kurtulması ve yağlanmasına gerek kalmaması; böylece, elektronik parçaların üretimi veya ilaç hazırlanması gibi hassas üretim süreçlerine zarar veren atık parçacıklar üretilmemiş oluyor. Aktif geribildirimle manyetik yükselme ve basınçlı gaz yatakları, böyle ortamlarda son zamanlarda kullanılmakta. Fakat bu sistemlerin bazı sakıncaları var. Örneğin, aktif geribildirimle manyetik yükselme sisteminde bir güç kaynağı veya sensörün hata yapması hareketli platformun, üzerinde durduğu raya çarpmasına ve parçacıkları havaya saçarak düzeneğin kirlenmesine yol açabilir. Gaz yataklarınınnsa, vakum gerektiren ortamlarda kullanılamayacağı açık. Diamanyetik yükselme, bu sorunlardan kaçınmayı sağlar.

Birkaç yıl önce yazar ve çalışma ar-



Şekil 6. Pirolitik grafitin (gri) havada durması, tipik olarak, uygun bir şekilde düzenlenmiş neodimyum-demir mıknatıslarla (bej) sağlanır. 1980'lerde geliştirilen bu mıknatıslar, 1990'lardan bu yana kolaylıkla bulunabiliyor (soldaki resim). Tersini yapıp, mıknatısları havaya kaldırmak zor; çünkü neodimyum-demir alaşımı, grafitten daha yoğun. Bu makalenin yazarı, 1992'de, mıknatısları kaldırmak için bir yol buldu: Dört neodimyum-demir mıknatıs ve havaya kaldırılmış bu mıknatısları ortada tutacak pek yüksek olmayan bir grafit taban kullandı (sağdaki resim).



Kararlı bir şekilde havada asılı tutmayı sağlamak için diamanyetik maddeler kullanıldığı sürece daha ağır cisimler, kütleçekimini yenmek için gerekli kuvveti sağlayan bir mıknatıs kullanılarak havaya kaldırılabilir (soldaki resim). Dönen kanatlar için manyetik yatak kullanılması, alışılmış yataklarda doğal olan statik sürtünmeden kurtulmayı sağlar. Ayrıca, bu alet kullanılarak çok düşük gaz akış hızları da ölçülebilir. Sürtünmenin olmayışı, yüksek bir akış ve hızlı bir dönüşün olduğu ortamlarda, ölçüm aletinin sürtünme sonucu hassasiyetini kaybetmesini önler.

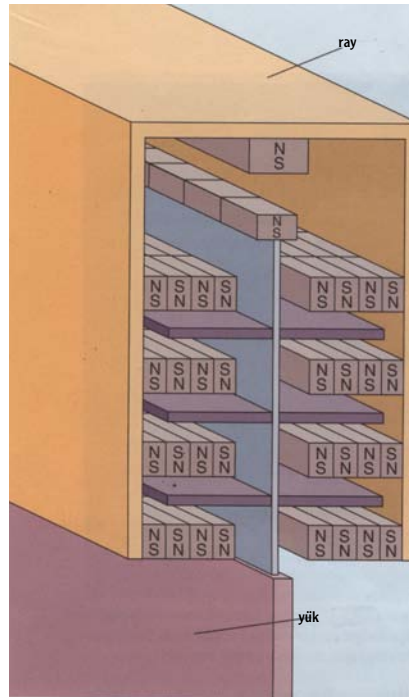
kadaşları, sipariş üzerine vakumda temiz oda çalışması için düşünülmüş bir sistemin prototipini yaptık. Düzenegi kaldırmak için kalıcı mıknatıs, kararlılığı sağlamak için diamanyetik madde kullanıldığı havada asılı kalabilen bu yapı, çok sayıda üzeri kaplanmış metal disk tutan bir yatak taşır. Havada asılı tutulan kütle uzunluğu ve yüksekliği kabaca 1 m ve genişliği 10 cm. Ağırlığı 13 kg olan bu kütle, diamanyetik yükselme yoluyla ya da daha doğrusu, süperiletkenliğe dayanmayan diamanyetik yükselme yoluyla havada asılı tutulan en büyük kütle.

Diamanyetik yükselme, diğer uzmanlık alanlarındaki uygulamalar için de çeşitli fırsatlar sunar. Örneğin, ağırlıksız ortamların hem canlı organizmalar hem de mühendislik ürünü malzemeler üzerine etkisini incelemek için kullanılabilir. Bu uygulamalar tipik olarak, süperiletken mıknatıslar tarafından üretilen çok şiddetli alanları gerekli kılıyor. Bu donanım pahalı olmasına karşın, uzayda yapılan deneylere kıyasla ihmal edilebilir bir maliyete sahiptir.

Havada asılı tutulmak istenen cisimler yeterince küçük olduğu sürece, bu deneyleri süperiletken mıknatıslar kullanmadan da yapmak mümkün. Kaba bir hesaplama, yeni kalıcı mıknatıslar, 160 mikrometre veya daha küçük boyutlardaki su damlalarını havada asılı tutacak güçte olmalı. Küçük boyutlu cisimleri havada tutmak için böyle bir girişim teknik olarak iddialı görülebilir, ama gerçekleştirilme olasılığı var ve yörüngeye girmeye gerek kalmadan sürekli bir ağırlıksız ortamı elde etmek i-

çin de düşük maliyetli bir yol sunuyor.

Uzaydaki uygulamalar için de diamanyetik kuvvetleri kullanmak oldukça yararlı olabilir. Kütleçekiminin olmayışı, havaya kaldırılan cisimle düzeneğin geri kalanı arasında daha büyük



Oda sıcaklığındaki diamanyetizmadan yararlanarak yazar ve arkadaşlarının geliştirdiği bu prototip sistem, kaldırılan kütle miktarı yönünden bir dünya rekoruna sahip. Bu aygıt, temiz oda ortamında çalışacak şekilde planlandı; bilindiği gibi, alışılmış tip yataklar ve bunların ürettiği parçacıklar, düzeneğin için bir kirlilik tehdidi yaratıyor. Şekilde görüldüğü gibi, dörtlü sabit mıknatıslar (bej) arasındaki yatay diamanyetik levhalar (gri) kararlılığın sağlanması için yerleştirildi. Ortadaki düşey desteğin üzerindeki bir sıra mıknatıs, rayı tutturulmuş buna benzeyen bir dizi mıknatıs tarafından çekilerek sistemi yukarıya kaldırmaya yarıyor.

| madde      | $\chi$ |
|------------|--------|
| bizmut     | -280   |
| kalay      | -37    |
| sofra tuzu | -30    |
| altın      | -28    |
| kurşun     | -23    |
| gümüş      | -20    |
| su         | -13    |
| germanyum  | -12    |
| elmas      | -6     |
| çinko      | -9     |
| bakır      | -5     |
| silikon    | -3     |

Yukarıdaki listedeki gibi birçok madde, diamanyetiktir ve manyetik alınganlıkları negatiftir. Pirolitik grafit belli bir yönde bizmutunkinden daha yüksek bir diamanyetiklik gösterir.

bir uzaklık olmasını sağlayabilir. Böyle düzenekler uzay gemilerinde, açılabilir momentumu depolamaya yarayan volanları desteklemek amacıyla veya titreşim yalıtımı için kullanılabilir. Ayrıca diamanyetik kuvvetler aracılığıyla astronotlar cisimleri, fiziksel olarak dokunmadan yönlendirebilirler.

Aslında diamanyetik yükselmeyi uzayda kullanmak, Dünya'daki kullanımının en büyük dezavantajından kurtulmayı sağlayacaktır: Elde edilebilen yatak basıncı bir çok mekanik uygulama için oldukça düşük. Ancak, özel olarak tasarlanmış malzemelerin diamanyetikliğinin, şu anda var olanlarınkinden 10, hatta 100 kat büyük olması için temel bir neden yok. Böyle maddeler belirlenip geliştirilebilirse diamanyetik yükselme, çok az bilinen bir konu olmaktan aniden çıkıp bir teknolojiye dönüştürülebilir. Örneğin ulaşım üzerine çalışan mühendisler, maglev trenlerini bu yolla yapabilirler.

Böyle bir atılım olmasa da diamanyetik yükselmenin mıknatısların, malzemelerin ve tasarımların gittikçe iyileşmesi sayesinde pratik bir kullanım alanı bulacağı kesin. Her durumda, diamanyetik yükselme, üzerinde sürekli çalışmaya değecek büyüleyici bir fiziksel olay. Bu konu, ilginç özellikleri olan sistemleri yaratmak için elektromanyetik teoriyi, malzeme bilimlerini ve mühendislik tasarımını bir araya getiriyor. Bu alanın geleceğinin ilgi uyandıracak sürprizlerle dolu olduğuna kuşku yok.

Ronald E. Pelrine. "Diamagnetic Levitation". American Scientist (September-October 2004): 428-35.

Kısaltarak çeviren:  
Canan Öktemgil Turgut