

MIKNATISLI SIVILAR

• Miknatıslı sıvıların, uçakların görünmesini önleyen anti-radar resimlerden miknatıslı mürekkep ile basıma, bir akışkanın viskozitesini veya bir robot kolunun eğimini ölçmeye, ya da bir ışık şiddetini çok hızlı biçimde modüle etmeye kadar uzanan uygulama çeşitliliği şaşırtıcıdır. Temel araştırmalar açısından, bir manyetik alan etkisinde kaldıkları zaman miknatıslı sıvıların yüzeylerinde oluşan kararsızlıklar, fizikçilere çok ilginç bir çalışma konusu sunar. Ayrıca, manyetik bir alan etkisinde değillerken kararlı miknatıslı sıvılar elde etmek ise güzel bir kolloid fizikokimyası problemi.

Jean-Claude BACRI
Régine PERZYNSKI
Dominique SALIN

Bir miknatıslı sıvı, miknatıslı küçük madde taneceklerini (örneğin, kimi demir oksitleri) süspansiyon olarak içeren bir akışkandır. Bu miknatıslı tanecekler öyle küçüktürler ki, aynı içinde buldukları sıvının molekülleri gibi davranırlar. Ayrıca, her tanecek sürekli miknatıslı davranışı gösterdiğinden, hepsi birlikte, miknatıslı sıvıya (daha çok "demirli-akışkan" olarak anılır) olağanüstü özellikler verirler. Manyetik bir alanın etkisi altında, demirli-akışkan birdenbire bir kirpi gibi dikenlerle kaplanabilir ya da daha başka şaşırtıcı biçimler kazanabilir.

Temel araştırmalar açısından, demirli-akışkanların incelenmesi yoğun madde fiziği alanına girer. Miknatıslı sıvılar, davranışlarındaki çeşitlilik nedeniyle, uygulamada birbirlerinden çok farklı sistemlerde karşımıza çıkarlar: Hoparlör kangallarında, titreşim söndürücülerde, manyetik beslemeli su geçirmez eklemlerde, elektronik parça fabrikalarında, disketli bilgisayar bellek birimlerinde, kimi basım mürekkeplerinde, viskozite ve eğim ölçmelerinde, manyetik alanları bulmada, ışığı modüle etmede kullanılırlar. Kısacası, uygulama listesi saymakla tükenecek gibi değildir.

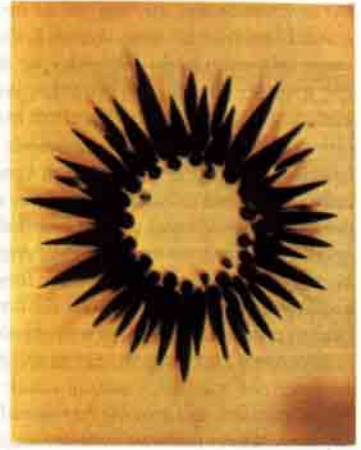
Kararlı ve homojen ilk miknatıslı sıvılar bulan, Amerikalı Ronald Rosensweig'dir. Rosensweig, 1968'de, bu ürünleri pazarlayan bir de merkez kurmuştur. Ama bugün, uygulama alanında, Japonlar öndedir.



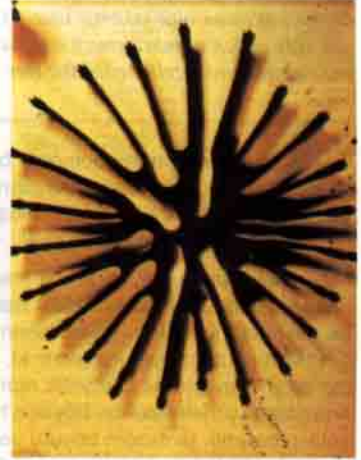
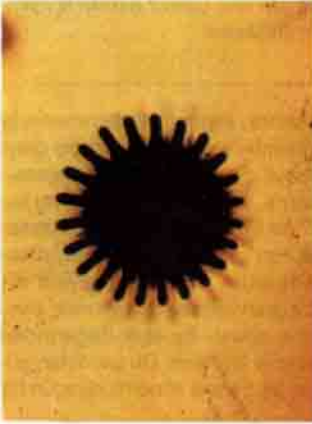
BİR DEMİRLİ-AKİŞKANIN KARARLILIĞI HANGİ ŞARTLARDA SAĞLANIR?

Bir demirli-akışkan elde etmek için çözülmesi gereken başlıca sorun, akışkanın kararlılığıdır. Gerçekten, bir sıvıya, örneğin demir, kobalt ya da manganezin miknatıslı küçük kristalleri katılıp karıştırılırsa, elde edilen çözelti genellikle kararlı olmaz: Belli bir süre sonra, miknatıslı tanecekler bulunduktan kabın dibinde çökürler. Öyleyse, homojen ve kararlı bir demirli-akışkan elde etmek, kimi önlemler alınmasını gerektirir. Bunun için, taneceklerle etki eden farklı fiziksel kuvvetler ve taneceklerle akışkanın molekülleri arasındaki etkileşmeler gözönüne alınmalıdır. En başta, yoğunluğu çözününkinden çok yüksek olan miknatıslı küçük kristaller, ağırlıkları nedeniyle çökme eğilimindedirler. Bunu önlemek için, Brown hareketi ile asılı kalabilecek, yeterince küçük miknatıslı tanecekler (10 nanometre, yani santimetrenin milyonda biri boyutlarında) kullanılır. Bu durumda, taneceklerle içinde buldukları sıvının molekülleri arasındaki termik kökenli ardıışık çarpışmalar, taneceklerin kabın dibine düşmesini engellemeye yeter. Böyle elde edilen çözeltiyi "kolloid çözelti" denir. Manyetik bir alan yalnız miknatıslı taneceklerin değil, tüm çözeltinin davranışını etkiler.

Tanecekler termik hareketlerinden ve ağırlıklarından başka, belli çekim etkileşmelerinin de etkisi altındadırlar. Örneğin, iki miknatıslı tanecek, iki küçük miknatıslı gibi birbirlerini çekerler; daha genel olarak, hangi türden olursa olsun, iki tanecek elektrik dipolleri arasındaki etkileşme ile de birbirlerini çekerler. Elektrik dipoller arasındaki çekimden sorumlu kuvvetler, Van der Waals kuvvetleridir. Bu çekimler tanecekler arasındaki uzaklığa bağlıdır ve tanecekler birbirlerine ne kadar yakınsalar o kadar büyük olurlar. Tanecekler birbirlerinden sonsuz uzakta olurlarsa, kuvvetler de söner. Tanecekler arasındaki uzak-



Bu resimlerde, dışardan bir mıknatıs yaklaştığında mıknatıslı sıvıların nasıl bir şekil aldığı görülmektedir.



Hem sıvı, hem de mıknatıs özellikleri taşıyan demirli-akışkanlar, bir sıvı içinde süspansiyon olarak bulunan mıknatıslı taneciklerden oluşur. Bu tanecikler öyle küçüktürler ki, içinde buldukları sıvının molekülleri gibi davranırlar. Dış manyetik bir alan, yalnız mıknatıslı tanecikleri değil, tüm sıvının davranışını etkiler. Buradaki iki fotoğraf dizisi, dışardan bir mıknatıs yaklaştırıldığı zaman, saydam bir kap içinde bulu-

nan bir demirli-akışkanın davranışındaki çeşitliliği gösteriyor (siyah uzantılar). İlk durumda (üstte), kapın kalınlığı birkaç santimetredir ve demirli-akışkan bir dizi çıkıntılardan oluşan bir görünüm kazanır. İkinci durumda (altta), kapın kalınlığı birkaç milimetre olarak sınırlandırılmıştır. Bu ince kalınlık, çıkıntıların dikey yönde oluşmasını engeller ve kapın yatay düzlemi boyunca parmaklar oluşur.

lık 10 nm (1 nm = 1 nanometre = 10^{-9} m) basamağında olduğu zaman örneğin Van der Waals kuvveti, termik hareketi ile aynı basamakta enerji sağlar ve Brown hareketi^{*} bu çekimi dengelemeye artık yetmez. Mıknatıslı tanecikler bu çekimin etkisi ile biraraya toplanırlar ve kısa sürede gitgide irileşen topaklar oluşturarak çöklerler. Taneciklerin biraraya gelmelerini önlemek ve belli bir çözücü içindeki mıknatıslı kolloidi kararlı kılmak için, tanecikler arasında itici bir ek etkileşme sağlanmalıdır. Bu, ya tanecikleri, organik moleküllerden oluşmuş ve onla-

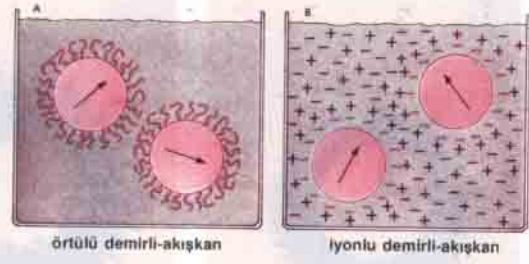
rın birbirlerine çok yaklaşmalarını mekanik olarak engelleyen esnek bir kılıf ile kaplamak, ya da tanecikler arasında elektrostatik bir itme oluşturmak için, onlara elektrik yükü yüklemekle yapılabilir.

SIVILARIN AKIŞKANLIĞINA MIKNATISLIK ÖZELLİKLERİ EKLENİNCE

Kuşkusuz, demirli-akışkanların asıl ilginçliği onların manyetik özelliklerinden gelir. Bir çözücü içinde dağılmış olan taneciklerin sağladığı bu manyetik özellikler, çözücünün sıvı özelliklerine eklenir. Bu iki özelliğin birleşiminden, son derece şaşırtıcı davranışlar ortaya çıkar. Demirli-akışkanlar, dış manyetik

* Brown hareketi, sıvı moleküllerinin termik kökenli gelişigüzel doğrultudaki hareketidir.

Bir mıknatıslı sıvı, su, yağ ya da bir organik çözücü içindeki mıknatıslı taneciklerin kolloid özelliğindeki süspansiyonudur. Bu süspansiyon, homojen bir sıvıdır; içindeki taneciklerin boyutları yeterince küçük olmalıdır ki, termik kökenli ardışık molekül çarpışmaları, taneciklerin yerçekimi etkisiyle çökmesini önleyebilsin. Mıknatıslı taneciklerin kendi aralarında ise, çekici etkileşimler vardır: Manyetik etkileşime ve Van der Waals etkileşimi. Bu çekimleri dengelemek ve taneciklerin biraraya toplanmasını engellemek için, tanecikler arasında kısa erişimli bir itme sağlayan ek bir etkileşime oluşturmak gerekir. Bu itme, iki farklı yoldan gerçekleştirilebilir. Çini mürekkebi yapımından beri bilinen en eski yöntem, her taneciğin çevresine kısa polimer zincirlerinden oluşan esnek bir kılıf (jelatin ya da yumurta akı gibi bir hayvansal protein) örmektir; taneciklerin birbirini itmesini sağlayan bu tür maddelere "örtücü" (surfactant) denir ve örtülü bir demirli-aışkan elde edilmiş olur (A). Kimyasal olarak elde edilen iyonlu demirli aışkanlarda ise, bu itme elektrostatik özelliktedir (B): Her tanecik, aynı işa-



retli bir yüzey yükü taşır. Gerçekte, tanecikler arasındaki doğrudan elektrostatik etkileşime, çözeltide bulunan başka iyonların etkisi ile "perdelenmiştir". Mıknatıslı taneciklerin yüzey yüklerini ya da çözeltideki iyon miktarını değiştirerek, tanecikler arasındaki bileşke etkileşime değiştirilebilir. Böylece, Şekil A'daki esnek kılıfın eşdeğeri elde edilebilir; itmenin büyüklüğünün, çözeltiye eklenen ters işaretli iyonlarla ayarlanabilmesi de ek bir imkandır.

bir alanın etkisi altında geometrik biçimlerini kolayca değiştirecek, karmaşık çıkıntılarla kaplanmış az ya da çok simetrik çeşitli şekiller oluştururlar. Bu davranış zenginliği anlaşılabilir mi?

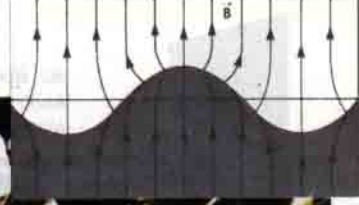
Kolay olduğu için, kararlı bir manyetik sıvıyı göz önüne alalım. Süspansiyondaki her tanecik, küçük bir mıknatıslı kristaldir. Taneciklerin 10 nm basamağındaki boyutları öyle küçüktür ki, taneciği oluşturan atomların tek tek manyetik momentleri birbirlerine paralel yönelmişlerdir. Böylece her tanecik, manyetik momenti, taneciğin boyutu ve mıknatıslı maddenin özellikleri ile belirlenen sürekli bir mikromıknatıslı gibi davranır. Süspansiyonda önceleri gelişigüzel yönelmiş olan tanecik manyetik momentleri, manyetik bir alanın etkisi altında, alan doğrultusunda yönelmek isterler; dolayısıyla, sıvıda belli bir mıknatıslanma görülür. Alanın belli bir değerinden sonra bu küçük mıknatısların tümü alana paralel olacağından, mıknatıslanma, "doyma değeri" denen maksimum bir değere ulaşır. Dış manyetik alan kaldırılırsa, "histerezis" (1) olayı görülmez ve mıknatıslanma da kalkar. Manyetik davranışı böyle tersinir olan sıvıya "paramanyetik sıvı" denir. İdeal bir demirli-aışkan, en küçük bir manyetik alanda bile, büyük bir doyma mıknatıslanması kazanır. Bu durumda, manyetik olaylar güçlendiğinden, ideal mıknatıslı sıvıların incelenmesi kolaylaşır. Ayrıca, pratik bakımdan da, önemli manyetik etkiler elde etmek için, çok enerji harcamak gerekmez.

Bir demirli-aışkan yeterince zayıf bir dış manyetik alana konulduğu zaman, klasik bir sıvı özelliğini korur. Ama, manyetik alanın "eşik değeri" de-

nen bir değerinden sonra, sıvının şekillenmesinde ani mikroskopik değişimler görülür; bir geçiş olayı ve bir çatalanma oluşur. Sıvının eski şekillenmesinin bozulmasından sonra, yeni bir denge durumu kurulur. İlk olarak, 1967'de M.Cowley ve R.Rosensweig'in gözledikleri "çıkıntılı" kararsızlık bu olayın sonucudur. Bir demirli-aışkan, aışkan yüzeyine dik bir düzgün manyetik alanın etkisine konulursa, aışkanın yüzeyi, manyetik alanın B_E eşik değerinden sonra, göz alıcı çıkıntılarla kaplanır. Bu çıkıntılar, yüzey üzerinde çoğu kez altıgen simetrik düzgün bir örgü oluştururlar.

Mıknatıslı sıvılarda, dış manyetik alanın eşik değerinde, sıvının yüzeyi düzgün bir örgü biçiminde düzenlendiği zaman, sistemin simetrisinde bir azalma olur. Bu geometrik durum değişmesi temelinde bir faz geçişine (örneğin kristalleşmeye) benzer. Değişmeyi yöneten parametre, manyetik alandır. Alanın büyütülmesi, kristalleşmedeki sıcaklığın azaltılması ile aynı rolü oynar. Burada şöyle bir soru ortaya çıkmaktadır: Bu geçiş hangi basamaktadır? Başka deyimle, çıkıntılardan yüksekliği manyetik alanın eşik değerinde sıfırdan başlayarak, alan ile birlikte, ikinci basamaktan bir geçişle, sürekli biçimde mi artmaktadır? Yoksa, çıkıntılar, alanın eşik değerinde, birinci basamaktan bir geçişle, birdenbire, sonlu ve belirli bir yükseklikte mi ortaya çıkmaktadır? Bu sorular, gözlenen olayı inceleme yeteneğimizi tam olarak belirleyeceği için esastır. Geçiş ikinci basamaktan ise, sistemi ve gelişimini incelemek için tedirgeme (pertürbasyon) hesabı gibi etkili bir yöntem vardır. Tersine olarak, geçiş birinci basamaktan ise, geçişin kesikli ve tersinmez niteliği kuramsal incelemeyi çok güçleştirir. Ayrıca, bu türden bir geçişin özgül bir niteliği de, histerezis olayının görülmesidir: Manyetik

* Dış manyetik alan kaldırıldığında, mıknatıslanmanın hemen değil, belli bir süre sonra sönmesi olayı.



Bir demirli-akışkanın başlangıçta düzlem olan yüzeyine dik olarak bir manyetik alan uygulanırsa (A), çok ilginç bir yüzey kararsızlığı elde edilir. Manyetik alanın bir eşik değerinden sonra, birdenbire, düzgün altıgen yapıtı bir örgü biçiminde düzenlenmiş bir dizi çıkıntı oluşur (B). Yüzeyde küçük bir sinüsoidal titreşim ortaya çıkacağından, etki eden farklı kuvvetler gözönüne alınarak, bu kararsızlığın nedeni nitel olarak açıklanabilir. Alan yokken, miknatıslı sıvının yüzeyinde de, herhangi bir sıvındaki gibi termik uyarımlarla oluşan küçük titreşimler ve küçük dalgalanmalar bulunur. Bunlar yerçekim kuvvetleri ve yüzey gerilimi ile ilgili kılcallık kuvvetlerinin etkisi ile denge-

lenerek, sıvının yüzeyi kararlı bir görünüm kazanır. Yüzeye dik bir manyetik alan uygulanınca, alan çizgileri sinüsoidal yüzeyin tepelerinde sıklaşır, çukurlarında ise seyrekleşir (C). Bu nedenle, tepeleri büyüten ve gitgide sivrileştirten bir manyetik kuvvet doğar. Böylece, miknatıslı sıvının yüzey şekillenmesi, bir yandan yerçekimi ve yüzey gerilim kuvvetleri, öte yandan uygulanan B alanı ile artan manyetik kuvvetler arasındaki çekişmenin sonucunda oluşur. B_E eşik değerinin altındaki manyetik alanlar için, yerçekimi ve yüzey gerilim kuvvetleri baskındır ve sıvının yüzeyi düzlemdir. Eşik değerinin üzerinde ise, manyetik kuvvetler baskındır ve düzgün bir örgü kuran çıkıntılar doğar.

alanın şiddeti düşürülerek başlangıç durumuna dönülmek istenirse, çıkıntılar, oluşmalarındaki eşik değerinin altındaki alan değerlerde de varlıklarını sürdürürler. Şimdilik, kimi deneyler ve güçlü bilgisayarlarla yapılan kimi hesaplamalar, altıgenel simetrik bir örgü oluşturan geçişin birinci basamaktan olduğunu göstermektedir. Miknatıslı sıvıların bu "çıkıntılı" kararsızlıkların, fizik araştırmalarının önemli bir alanı olan faz geçişleri ve simetri değişimleri konularında incelenmektedir.

Çıkıntılı kararsızlık, manyetik alan sıvının düzlem yüzeyine dik olarak uygulandığı zaman oluşur. Alan, yüzeye paralel olarak uygulanırsa, etkisi genel olarak dengeleyicidir; alan şiddeti ne olursa olsun, sıvının yüzeyi düzlem kalır. Bununla birlikte, demirli-akışkan alana paralel doğrultuda kapatılırsa, yani akışkanın bulunduğu kabın kalınlığı öbür boyutları yanında küçük ise, miknatıslı sıvının yüzey dengesi yine tümüyle bozulur. Sıvı, alana dik doğrultularda yönelmiş parmaklardan oluşan bir labirent görünümünü kazanır. Bu görkemli kararsızlık ise, ilk ola-

rak, 1979'da Sovyet fizikçileri A.O. Tsebers ve M. Maiorov tarafından gözlenmiştir. O zamandan beri sekiz yıl geçmiş olduğu halde, sırlarının çoğu çözülememiştir.

MIKNATISLI SIVILARIN OPTİK ÖZELLİKLERİ

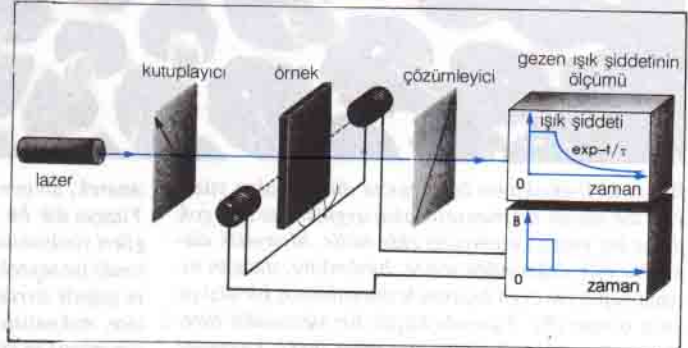
Demirli-akışkanların optik özellikleri, onların manyetik özellikleri ile aynı kökenden gelir. Miknatıslı sıvıların her taneciğinin bir mikro-miknatısl olduğunu biliyoruz. Manyetik momentlerine bağlı olarak, her taneciğin bir optik çift kırma özelliği vardır: Taneciklerin optik kırma indisi, kolay miknatıslanma eksenine paralel ve ona dik olarak kutuplanmış iki ışığın geçişine göre aynı değildir. Dış manyetik alan yokken, termik hareketler nedeniyle, mikromiknatısların doğrultuların gelişigüzel dağılmıştır: Sıvının ortalamaya miknatıslanması ve ortalama çift kırıcılığı sıfırdır. Taneciklerin manyetik momentleri bir dış manyetik alanın etkisi altında, alan doğrultusunda yönelirler; böylece ortam, manyetik alanın doğrultu-



Bir demirli-akışkan örneği, kalınlığı öbür boyutları yanında çok küçük olan bir kaba kapatıldığı zaman, akışkanın yüzeyinde labirenti biçimli bir kararsızlık görülür. Manyetik alan, sıvının serbest yüzeyine paralel olarak ve kabın küçük boyutu

boyunca uygulanınca (A), önceleri bu geometri karardır. Ama alanın belli bir eşik değerinden başlayarak, kalınlık kusatılmasının etkisi ile, demirli-akışkan, alana dik doğrultuda labirent biçiminde düzenlenmiş parmaklardan oluşan bir görünüm kazanır (B).

Bir kutuplayıcı ve bir çapraz çözümlüleyici arasında yerleştirilmiş bir demirli-akışkana bir manyetik alan uygulanınca, düzenek ışığı geçirir. Bu, demirli-akışkanın miknatıslı taneciklerinin alan doğrultusunda yönelmesinin sonucudur. Dış manyetik alan birdenbire söndürülürse, tanecikler yavaş yavaş gelişigüzel doğrultularda yönelirler.



suna bağlı olarak, ortalama bir miknatıslanma ve ortalama bir çift kırıcılık kazanır. Çift kırıcılığı olan bir madde, bir kutuplayıcı ile bir çapraz çözümlüleyici arasında yerleştirilince, kutuplayıcı yanından gönderilen ışığı geçirir. Manyetik alan birdenbire söndürülürse, taneciklerin manyetik momentleri ortamın viskozitesini belirleyen bir süre sonunda, ortalama miknatıslanmayı sıfır yapacak biçimde yönelirler. Bu süre için-

de, geçen ışığın şiddeti ölçülüp zamana göre grafiği çizilerek, sönmeye zamanı ve dolayısıyla da sıvının viskozitesi bulunabilir.

Demirli-akışkanların özellikleri henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Bu alanda verimli ve büyük deneysel ve kuramsal çalışmaların gerçekleşmesi beklenmektedir.

La Recherche'den çev.: Dr. Hanaslı GÜR

NIÇİN ESNERİZ?

Genellikle esneme üzerine araştırmalar yapıldığına inanılır. Birine neden esnendiğini sorarsanız, muhtemelen, kanda oksijen eksikliği ya da karbondioksit fazlası veya beyne giden kan dolaşımını artırmak için, gibi bir yanıt verecektir. Oysa yukarıdaki iddiaları kanıtlayacak herhangi bir araştırma yapılmış değildir.

Balıklar, kuşlar, sürüngenler ve memeliler esner. Dişi ve genç maymunlar, canı her istediğinde esneyen otoriter erkek maymunun mevcudiyetinde esnemekten kaçınırlar.

Esneme, orta kulakla dış dünya arasındaki basıncı eşitleyen östaki kanalının açılmasına yol açar. Ancak esnemenin birincil amacının bu olduğu sanılmamaktadır.

Günlük hayatta esneme, yorgunluk ve uyku baskısı belirtisidir. Bu nedenle sosyal yönden kabalık addedilir. Bazı bilim adamlarına göre esnemenin amacı uykusu gelmiş birini uyanık tutmaktır. Teoriye göre yorgunluk ve uyku bastırmaya başlayınca esneme, yüz kaslarının kasılmasıyla beyne kan akışının artmasına ve uyanıklaşmamıza yol açar.

Esneme ya da yokluğu için çeşitli klinik belirtiler arasında ilgi kurulmuştur. Esneme bir beyin lezyonu, iç kanama, hareket ya da taşıt tutması ve ensefalit belirtisi olabilir.

Öte yandan akıl hastaları, beyin hasar vakaları dışında nadiren esnerler. Bazı uzmanlar, akut bedensel rahatsızlığı olanların iyileşme eğilimine girmedikçe esnemediklerini kaydetmektedirler.

Psychology Today'den çev.: Murat ÖZKUL