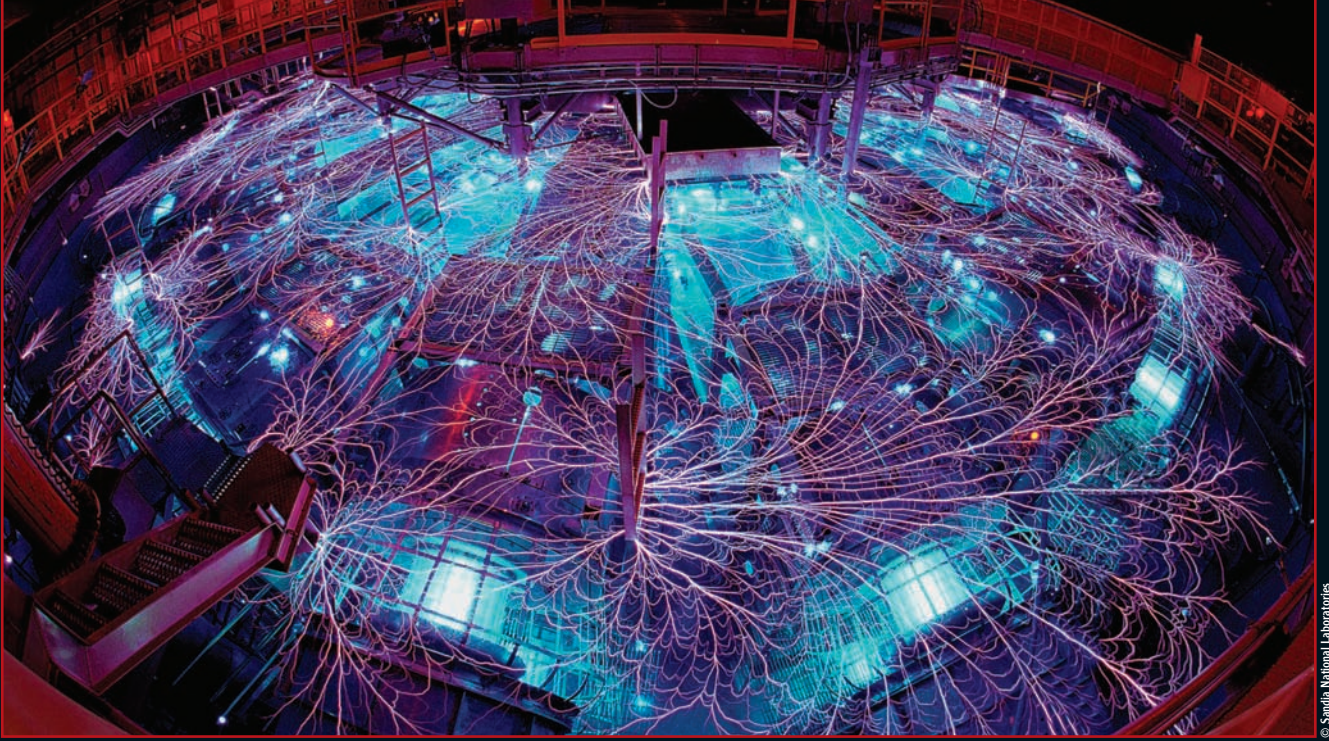


LICHTENBERG DESENLERİ



© Sadia National Laboratories

Dünya üzerine düşen milyonlarca yıldırımın yapısını incelemek için özel kameralar geliştiriliyor.

Saniyede binlerce kare çekim yapan

bu kameralar da yıldırımların oluşumu ve yapısı hakkında bilgi sağlıyor.

Bu doğa olayının benzerini yapay olarak üretme üzerine ilk çalışmalar aslında 18. yüzyılda başlamış.

Bu konuda araştırma yapanlardan birisi olan Georg Christoph Lichtenberg'in
yalıtım malzemeleri üzerinde oluşan ve elektrik boşalmalarını incelerken elde ettiği desenler
onun adıyla anılmaktadır. Lichtenberg anılarını da anlattığı

Super nova methodo motum ac naturam fluidi electrici investigandi
(Göttinger Novi Commentarii, Göttingen, 1777)

adlı kitabında desenlerinin tüm ayrıntılarını açıklamış. Lichtenberg'in bu doğa olayını
inceleme süreci, daha sonradan yaşamımızda sıkça kullandığımız fotokopi teknolojisinin gelişmesine
katkısı olmuş, hatta bu teknolojinin temellerini atmış. Bu araştırma aslında bir yandan
plazma fiziğinin de temelini oluşturuyor. 18. yüzyılda başlayan bu ilginç süreç,
günümüzde başka bir amaçla da kullanılıyor.

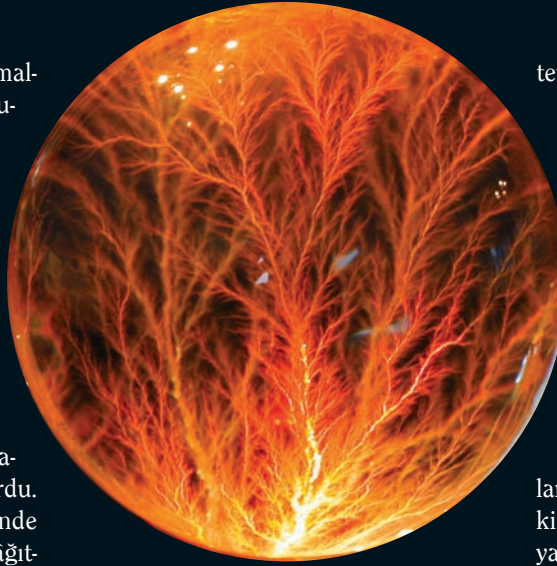
Akrilik plakalar içinde yakalanan bu elektrik boşalmalarını, evimizin bir köşesinde
küçük yıldırımlar gibi görünen süs eşyaları olarak da görebiliyoruz.

Lichtenberg desenleri yalıtım malzemelerinin yüzeyi ya da içinde oluşan, dallanan elektrik boşalmalarıyla kendini gösterir. 1777 yılında Lichtenberg, yüksek gerilimli statik elektriği indüksiyonla bir yalıtım malzemesinin yüzeyine uyguladı. Böylece sabitlenmiş toz üzerinde ortaya çıkan dairesel şekiller oluşturdu. İlk keşfedildiklerinde, bu desenlerin ilginç biçim ve yapıların artı ve eksi yüklü elektrik akışkanlarının doğasını açıklamaya yardımcı olacağı düşünülüyordu. Lichtenberg sabitlenmiş toz üzerinde oluşan bu desenlerin üstüne boş kâğıtları bastırarak, bu şekilleri kağıda aktarıp yakalamayı başardı. Böylece günümüzde kullandığımız fotokopi makinelerinin temel çalışması ilkesi ortaya çıktı.

Lichtenberg desenleri üzerine daha sonradan Gaston Planté, Thomas Burton Kinraide, Dr. Carl Edward Magsson ve Dr. Arthur Von Hippel gibi araştırmacılar da çalışmış ve yalıtım alanları üzerinde oluşan yüksek gerilimli boşalmaları fotoğraf filmi üzerinde yakalayarak kayıt altına almışlar. Von Hippel, Lichtenberg desenlerinin iyonize olmuş gazla (elektrik boşalmaları) altta kalan yalıtım yüzeyleri arasındaki karmaşık etkileşimden oluştuğunu buldu. Uygulanan gerilimi artırmanın ya da çevreleyen gazın basıncının düşmesinin desenlerin uzunluğunu arttırdığı görüldü. Bu özellik, daha sonra elektrik dağıtım hatları üzerinde oluşan olağandışı elektrik dalgalanmalarında ortaya çıkan Lichtenberg desenlerinin boyutuyla biçimini belirlemek ve bu dalgalanmalar üzerinde çalışma yapmak için kullanıldı. Oluşan bu dalgalanmaları belgeleyebilmek için de fotoğraf tekniğine dayalı özel bir aygıt olan klydonograflar geliştirildi.

Desenlerin Oluşumu

İki boyutlu Lichtenberg desenleri, reçine, ebonit, cam gibi iletken olmayan bir yüzeye, keskin uçlu bir iğneden elektrik akımının dikey olarak uygu-



lanmasıyla elde edilir. Uç, levhaya çok yakın ya da levhaya değiyor olmalıdır. Yüksek gerilim kaynağından iğneye elektrik verilir. Böylelikle levhanın yüzeyinde ani, küçük elektrik boşalmaları oluşur ve yükler sayesinde de elektrik alanı yaratılır. Bu alanların hangi yükte olduklarını anlamak için kükürt ve kırmızı kurşun (Pb3O4 ya da kurşun



tetraoksit) karışımı bir toz dökülür. Toz haline getirilmiş olan kükürt eksi elektrik yüklüdür. Kırmızı kurşunsa artı elektrik yüklüdür. Levhada oluşan artı yüklü alanlarda eksi yüklü kükürt eksi yüklü alanlardaysa artı yüklü kırmızı kurşun tozları toplanır. Bu sayede de, oluşan alanların yapısının incelenmesi olanaklı hale gelir.

Uygulanan elektriğin polaritesine bağlı olarak, desenlerin yapısı da değişiklik gösterir. Yükleme alanları artıysa levha üzerinde yoğun bir çekirdeğe sahip olan, yüzey üzerinde her yana doğru yayılan kolları bulunan geniş bir yapı görülür.

Eksi olarak yüklenen alanlarda daha küçüktür ve kolları olmayan daha çok dairesel ya da yelpazeye benzeyen bir yapıda desenler gözlenir. Eğer levhaya artı ve eksi yükler birlikte uygulanırsa, eksi yüklerin oluşturduğu büyük kırmızı çekirdekleri çevreleyen ve artı yüklerin neden olduğu sarı ışınlarla benzeyen bir desen oluşur. Tüm bu farklılığa da aslında hava neden oluyor; artı ve eksi

yüklerin havayla olan etkileşimi desenlerin farklılaşmasına neden oluyor, çünkü deney hava olmayan bir ortamda gerçekleştirildiğinde bu farklılık ortadan kalkıyor.

2-Boyutlu ve 3-Boyutlu Desenler

2-boyutlu Lichtenberg desenleri üretmenin başka bir yolu da, yalıtım malzemesinin yüzeyini yarı-iletken bir malzemeye değiştirmektir. Yüksek gerilimli elektrik yüzeye uygulandığında yarı-iletken malzemenin geçirdiği akım, alansal ısınma ve yanmaya, dolayısıyla altta kalan yalıtım malzemesinin bozulmasına neden olur. Zaman içerisinde de yalıtım malzemesinin yüzeyinde ağaca benzer karbonlaşmış desenler oluşur. Elektrik ağaçlar adı verilen bu oluşum daha sonra yalıtım alanını bozarak, yalıtım malzemesinin artık işe yaramamasına yol açar.

3-boyutlu Lichtenberg desenlerini yakalamak için akrilik ya da cam kullanılır. Bunun dışında polikarbonat, polistene, polietilen terephtalat (PET olarak bildiğimiz plastik) ve polivinil klorür (PVC olarak bildiğimiz plastik) de kullanılmaktadır. Bu malzemelerde kimi zaman koyu, hatta siyah (karbonlaşan) desenlerin oluştuğu da görülür.

Akrilik ya da cam, doğrusal elektron demeti hızlandırıcısına maruz bırakıldığında bu desenler oluşur. Burada elektron demeti hızlandırıcısı, elektronların hızlandırılıp odaklanarak yüksek enerjili demetlere dönüştürmeye yarar. Hızlandırıcıdaki elektronlar 25 MeV'lik enerjiye sahiptir ve ışık hızına yakın bir hızda hareket ederler.

Bu elektron demeti, akrilik gibi bir yalıtım malzemesine tutulduğunda, elektronlar akriliğin yüzeyini kolayca geçer ve plastiğin içindeki parçacıklara çarparak yavaşlar. Plastik örnek demetlerle bombardıman edildiğinde, elektronların ne kadar derine ulaştığı elektron demetinin başlangıç enerjisinin yanında, malzemenin yalıtkanlığına ve yoğunluğuna bağlıdır. Elektronlar hızla yavaşlayarak durdurulurlar. Akrilik elektrige karşı çok iyi bir yalıtım malzemesi olduğu için bu elektronlar akriliğin içinde geçici olarak hapsolür ve eksi yüklerden oluşan bir alan yaratır. Alan büyüdükçe elektrik alanı da büyür. Elektron demeti akriliğe uygulandıkça yakalanan yük miktarı artarak etkin gerilim milyon Volt'a ulaşabilir. Plastik içinde elektrik yükü o kadar artar ki, bir malzemenin yalıtım özelliğini belirleyen dielektrik engeli aşılır ve dielektrik çöküş yaşanır. Dielektrik sağlamlık (dielectric strenght) birim kütle başına düşen milyon Voltluk gerilimle (MV/m) gösterilir; bilinen kimi maddelerin dielektrik sağlamlıkları da şöyledir: Hava 3 MV/m, kuvars 8 MV/m, naylon 14 MV/m, ısıya dayanıklı cam 14 MV/m, kâğıt 16 MV/m, bakalit 24 MV/m, teflon 60 MV/m. Akriliğin dielektrik sağlamlığıysa 25 MV/m'dir.

Artan yüklenmeyle birlikte elektrik alan da artarak akriliğin dielektrik sağlamlığını bozar ve akrilik içindeki molekülleri tutan kimyasal bağlar ayrışır. Ortaya çıkan bu dielektrik çöküş, plas-

tiğin kimi bölümlerinin iletken haline gelmesine neden olur. Akrilik örneği metal bir uçla toprakladığımızda da bu çöküş elde edilebilir. Çöküş sırasında plastik içinde hapsolmüş yükler küçük yıldırımlar ve patlama sesiyle dışarı çıkarak dallanan bir ağaç ya da eğrelti otuna benzer iletken kanallar oluşur ve plastik boyunca yayılır. Yüklenmiş bir örneğin çöküşü yüklenmiş uçla etkilere girdiğinde de sağlanır.

Bu yüksek gerilim stresi yaratır, yük boşalımı da şiddetli elektrik kıvılcımları sayesinde binlerce dallanan kırıklar zinciri oluşturur. Bu da örnek içinde kalıcı bir

Lichtenberg deseni oluş-

turur. Örneğin içindeki iç yük aslında eksi olsa da yük boşalımı sırasında örneğin artı yüklü dış kısmındaki yükler desenin oluşmasını sağlar. Bu süreç o kadar hızlı olur ki dielektrik bozulmalar, örneğin 5 cm'lik bir akrilikte saniyenin 20 milyarda biri içinde gerçekleşir. Bu ilginç oluşumlara elektron ağaçları, demet ağaçları ya da yıldırım ağaçları adı verilir.

Elektronların hızı akrilik içinde yavaşladıkça güçlü x-ışınları da ortaya çıkarılır. Bu x-ışınları akriliği koyulaştırır. Buna da solarizasyon adı verilir. Solarizasyon bu akrilik örneklerini kehribar renge ya da kahverengiye dönüştürür. Eskiyen akrilikte bu renk yeşile dönüşür, zaman içerisinde de renk yok olur.

Doğal Oluşumlar

Aslında Lichtenberg desenlerinin doğal olarak oluştuğu da görülür. Örneğin kendilerine yıldırım çarpan kişilerin derisinin üzerinde bu desenler görülmüş. Kırmızı renkli olan bu desenlerin biçimleri eğrelti otuna benzer. Yıldırım çarpması yaşayarak kurtulan kişilerin bedenleri üzerinde bu desenlerin saatlerce ya da günlerce kaldığı görülmüş. Bu desenler bir kişinin ölüm

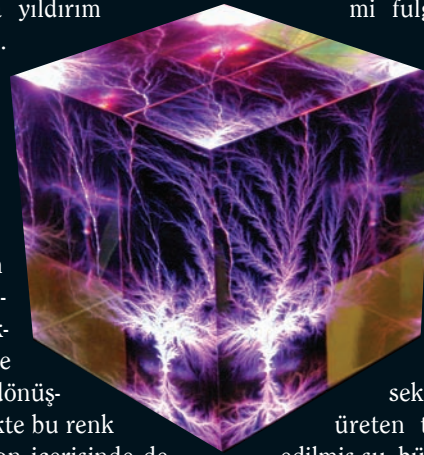
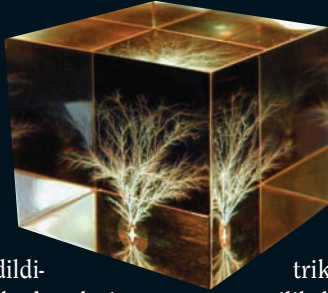
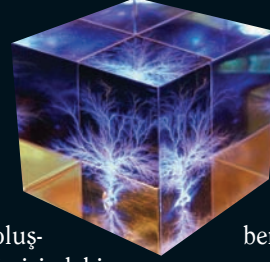
nedenini belirlemek için adli tıp uzmanları tarafından kanıt olarak da kullanılıyorlar. İnsanlar üzerinde oluşan Lichtenberg desenleri yıldırım çiçekleri olarak adlandırılıyor. Desenlerin, yıldırım akımının geçmesi ya da yıldırım boşalımının oluşturduğu şok dalgası nedeniyle deri altındaki kılcal damarların bozulmasıyla oluştuğu düşünülüyor.

Büyük çim alanlarından oluşan golf sahalarına düşen yıldırımların da Lichtenberg desenleri oluşturduğu görülmüş.

Kimi zaman yıldırımlar yere düştüğünde fulgirit adı verilen ve mercana

benzer şekilde dallanan bir yapıya sahip olan oluşumların ortaya çıkmasına neden olur. İletkenliği düşük olan kum ve kum-kilden oluşan toprağa düşen yıldırım iletken kanalların oluşmasına neden olur. Kum içinde geçen bu güçlü akım, buradaki moleküllerin birbirleriyle bağlanmasına neden olur ve ortam soğuduğunda cama benzer katı dallanmalar görülür. Yapıları oluşumlarındaki maddenin farklı olması nedeniyle değişiklik gösterse de fosilleşen yıldırımlar adı da verilen kimi fulgiritler, Lichtenberg desenlerinin fraktal yapısına benzeyen özellikler gösterir.

Yüksek bir gerilim suya boşaldığında da Lichtenberg desenlerinin oluştuğu görülebiliyor. Örneğin yüksek enerjili çalışan güç üreten tesislerde deiyonize edilmiş su, büyük miktardaki elektrik enerjisini depolamak için yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Bu tesislerden en önemlisi Sandia Ulusal Laboratuvarları'nda bulunan Z Makine'sidir (Z Machine). Dünyanın en büyük darbe üretici olan Z Makinesi yüksek sıcaklık ve basınç altında malzemeleri test eder ve nükleer silahların bilgisayar modellemesinde kullanılacak bilgiye ulaşmak için kullanılır. New Mexico'da bulunan Z Makinesi'nde de su yalıtım amacıyla kullanılır ve yüzeyinde Lichtenberg desenlerin oluştuğu görülür. Yüksek enerji gerektiren bir deney



sonuçlandığı zaman, sistemde istenmeyen ve arta kalan enerji su havuzuna verilir. Bu elektrik nedeniyle yalıtım özelliğini bir miktar kaybeden suyun yüzeyi üzerinde dans eden Lichtenberg desenleri oluşur. Oluşan bu desenler çatallanmış yapıya sahiptir ve yüksek enerjili dallanmalar olsalar da aslında sistemde kullanılan elektriğin %5'i gibi bir miktarı bu havuza verilmiştir.

Fraktal Benzerlikler

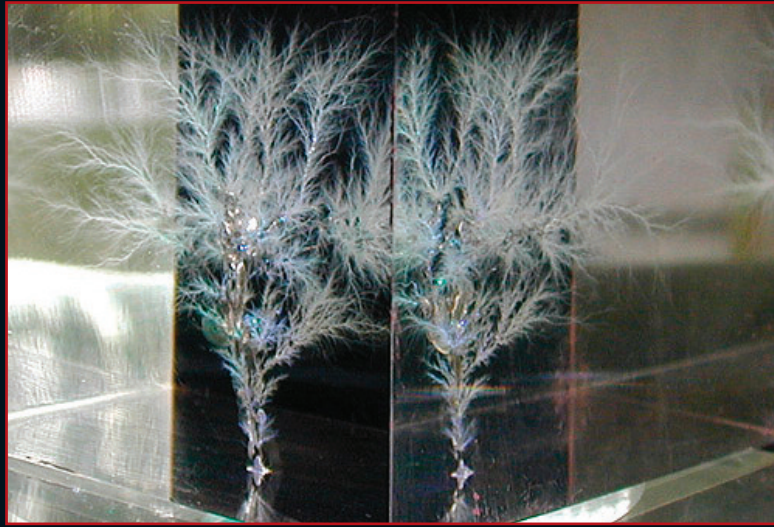
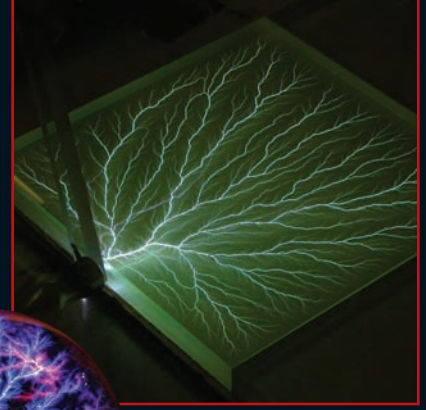
Lichtenberg desenlerinde oluşan dallanmalar fraktal özellikleri gösterir. Katı, sıvı hatta gazların dielektrik bozunmasıyla oluşan desenlerin ortaya çıkması, dağılım-sınırlı yığılma (DLA-diffusion-limited aggregation) süreciyle ilgilidir. Niemeyer, Pietronero ve Weismann, 1984 yılında, makroskopik bir elektrik alanını DLA'yla birleştiren ve dielektrik bozunma modeli olarak bilinen bir model geliştirdiler. Havanın ve akriliğin elektrik bozunum mekanizması farklı olsa da dallanan boşalmaların bir-biriyle ilişkili olduğu görülmüş. Bu nedenle doğal yıldırımla oluşan dallanma desenleri de fraktal özelliklere sahiptir.

Lichtenberg desenleri kendilerine benzeyen yapılardan oluşur. Bu da fraktalların en önemli özelliklerinden biridir. Akriliğin içine verilen yükler ve örneğin içindeki yüklerin nasıl boşaltıldığına göre fraktal desenler farklılık gösterir. Eğer örneğe yüksek miktarda elektrik yüklenir ve hemen boşaltılırsa merkezde desenlerin oluştuğu bir örnek ortaya çıkar. Öte yandan, örnek daha düşük miktarda yüklenir ve dışarıdan bir etkiyle boşaltılırsa yıldırıma benzeyen bir desen ortaya çıkar. Erken bozulma

olursa da kaotik bir desen ortaya çıkar.

Pratik Kullanımlar

Lichtenberg desenleri, iletim hatları üzerindeki oluşumların elektrik hatlarına nasıl etki ettiğinin yanında adli tıpta da kullanıldığını söylemiştik. Lichtenberg'in bulunduğu yöntemi, elektrostatik baskılamayı fotoğrafla birleştiren Chestor Carlson 1942 yılında xerografinin patentini almıştır. Fotokopi olarak bilinen xerografi aslında yunanca "kuru" anlamında kullanılan "xeros" ve "yazma" anlamında kullanılan "grap-



hos" sözcüklerinin birleşiminden oluşur. Ancak Lichtenberg'in bu buluşu 18 yıl sonra gün yüzüne çıkmış ve günlük yaşantımızda sıkça kullandığımız fotokopi makinesi 1960'da piyasaya sürülmüştür.

Lichtenberg desenlerinin kullanıldığı başka alanlar da var. Örneğin, yüksek gerilimli aygıtlar ve araçların üstünde bunlar bozulmadan önce elektrik ağaçlanma desenleri oluşmaktadır. Aygıtların yalıtım malzemesi üzerinde oluşan

bu desenler aygıtın nasıl bozulduğunu bulmaya yarıyorlar. Aygıtlar bozulmadan önce yalıtım malzemesinin çökmesi sonucu oluşan bu desenleri inceleyerek, deneyimli bir mühendisin ağacın biçimi ve yönünün oluşmasına bakarak aygıtın nasıl bozulduğunu bulabilir. Transformörler, yüksek akım kablolarının ve diğer yüksek akımlı aygıtların bozulmasının tümü bu yöntem kullanılarak araştırılabilir. Kâğıtla yalıtımı sağlanmış aygıtlarda bu kâğıt açılarak, sert malzemeden oluşan aygıtlarda malzeme ince dilimlere kesilerek oluşan desenler fotoğraflanır ve aygıtın bozulma nedenini arşivlemek için kullanılır.

Sayfalarımızda gördüğümüz pek çok görüntü Lichtenberg desenlerinin süs eşyalarında 3-boyutlu olarak akrilik içinde yakalanmış olan halini gösteriyor. Akrilik içinde Lichtenberg desenini oluşturan araştırmacılar daha sonra bu örnekleri alt taraftan LED'ler yardımıyla aydınlatıyorlar. Böylece evinizin bir köşesinde yakalanmış bir yıldırım örneğine sahip olduğunuz süs eşyalarını bulundurabiliyorsunuz.

Özgür Tek

Bu yazıdaki görüntülerin kullanılmasına izin veren Stoneridge Engineering'den Bert Hickman'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar
<http://www.sandia.gov/>
<http://capturedlightning.com/>