

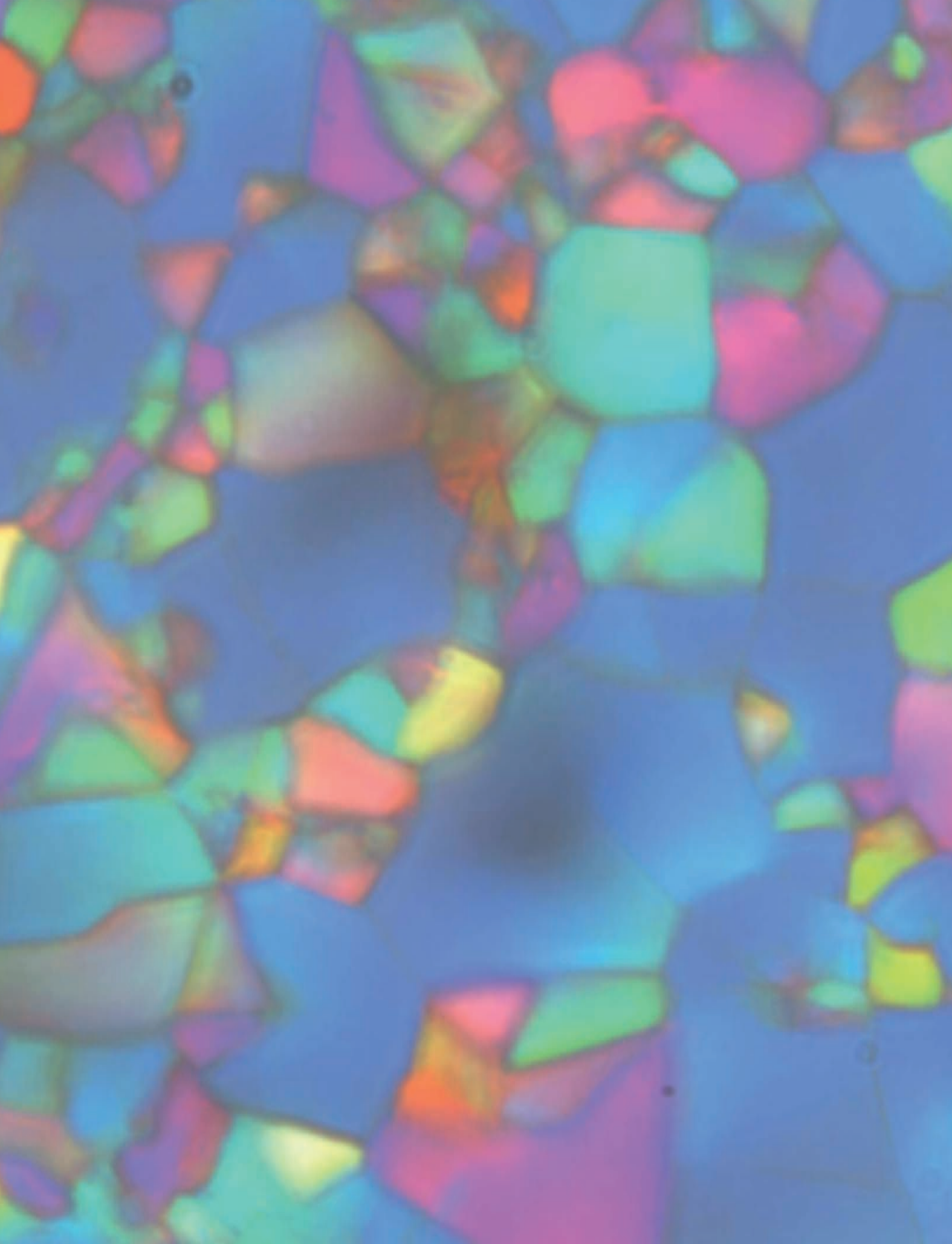
# Mavi Sis'in Gizemi

Dr. Mahir E. Ocak [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Sıvı kristaller üzerine yüz yılı aşkın bir süredir çalışmalar yapılıyor. Zaman içinde çeşitli sıvı kristal türleri bulundu, elde edilen bilgiler sayesinde yeni teknolojiler geliştirildi. Bugün dünyanın teknoloji devleri tarafından üretilen pek çok ekranda sıvı kristaller kullanılıyor. “Mavi sis” olarak adlandırılan sıvı kristal türünün yapısı, ilk keşfedilenlerden biri olmasına rağmen bir türlü anlaşılammıştı. Ancak bir grup araştırmacı yakın zamanlarda yeni bir yöntem geliştirerek mavi sisin gizemini çözmeyi başardı.



Gelecekte yeni yöntemin de ekran teknolojilerinin üretiminde kullanılacağı düşünülüyor.





Friedrich Reinitzer

## Sıvı Kristaller

Sıvı kristallerin tarihi 1800'lere kadar gidiyor. Avusturyalı botanikçi Friedrich Reinitzer, kolesteril benzoat ( $C_{34}H_{50}O_2$ ) üzerine çalışmalar yaparken açıklayamadığı bir durumla karşılaştı. Malzeme oda sıcaklığında katıydı. Yavaş yavaş ısıtıldığında  $145,5^{\circ}C$ 'de sıvılaşıyor ve bulutumsu bir görünüm kazanıyor, ancak sıcaklık  $178,5^{\circ}C$ 'nin üzerine çıktığında sıvı şeffaflaşıyordu. Daha da garip olanı sıvı soğurken beklenen aksine yeniden bulutumsu görünüm kazanmıyor, rengi önce maviye sonra mora dönüyordu. Gördüklerine anlam veremeyen Reinitzer, bir fizikçiden yardım istemeye karar verdi ve Alman fizikçi Otto Lehmann'a bir mektup yazdı. Lehmann, Reinitzer'in deneylerini tekrarladı ve farklı görünümlü sıvıları zamanın gelişmiş mikroskop-

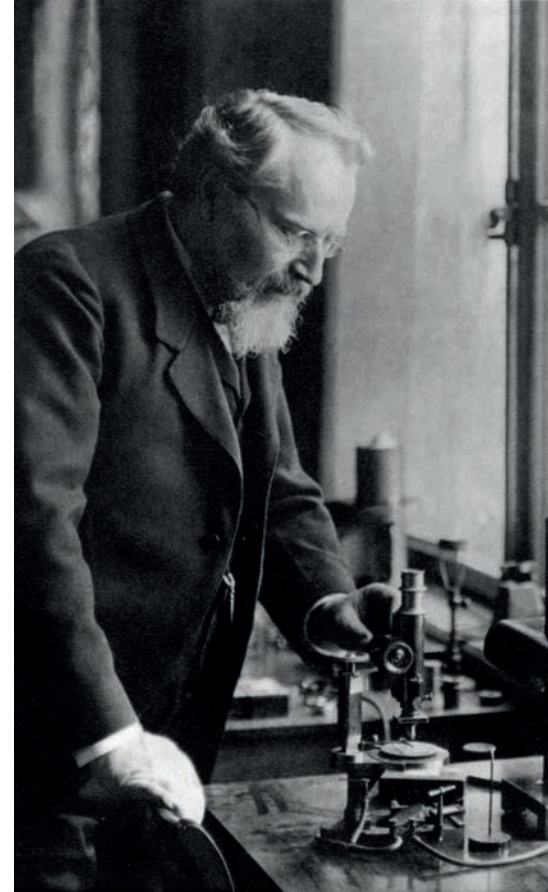
ları altında inceledi. Malzemelerin içinde kristaller gibi düzenli yapıda ancak kristallerin aksine akışkan yapılar gördü. Lehmann bu yapılara sıvı kristal adını verdi. Aradan geçen zamanda farklı sıvı kristal türleri bulundu. Örneğin en basit sıvı kristal türü denebilecek nematik kristaller, çubuk biçimli moleküllerin birbirine paralel biçimde sıralanmasıyla oluşur. Nematik sıvı kristaller bugün sayısız akıllı telefon ve bilgisayarın ekranında kullanılıyor.

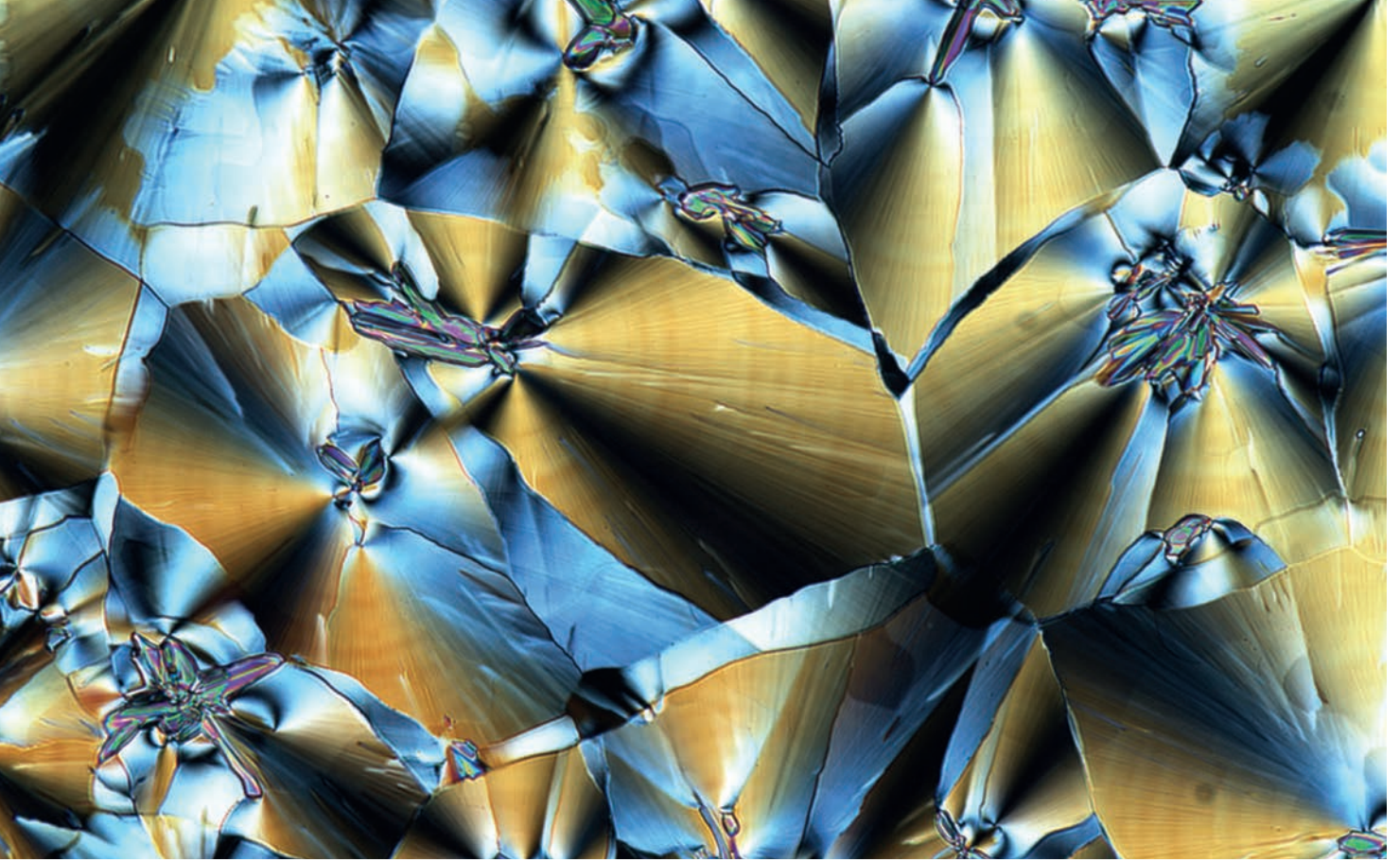
Reinitzer'in gözlemediği bulutumsu sıvının yapısı 1920'lerde yapılan deneylerle çözümlendi. Çubuk biçimli kolesteril benzoat moleküllerinin katmanlar halinde sıralandığı bu malzemeler bugün kolesterik sıvı kristal olarak adlandırılıyor. Bu malzemelerde moleküller üç boyutta hareket edebilse de yönelimleri her zaman ortak bir eksene paraleldir ve eksenin doğrultusu bir katmandan diğerine geçildiğinde bir miktar döner.

Reinitzer'in gözlemediği mavi sıvının yapısıysa uzun yıllar çözülemedi. Bugün I, II ve III olarak adlandırılan üç ayrı mavi faz olduğu biliniyor. Reinitzer her üç fazı da görmüştü. Ancak o zamanki ilkel deney aletleriyle sıcaklığı hassas bir biçimde ayarlayarak farklı fazları ayırt etmesi ve üzerlerinde çalışmalar yapması mümkün değildi. 1980'lere gelindiğinde hem deneysel çalışmalar hem de bilgisayarlarla yapılan hesaplar yardımıyla mavi faz I'in ve II'nin yapıları çözümlenmişti. Ancak mavi sis olarak da adlandırılan mavi faz III'ün yapısı yakın zamanlara kadar bilimsel araştırmalara konu olmaya devam etti.

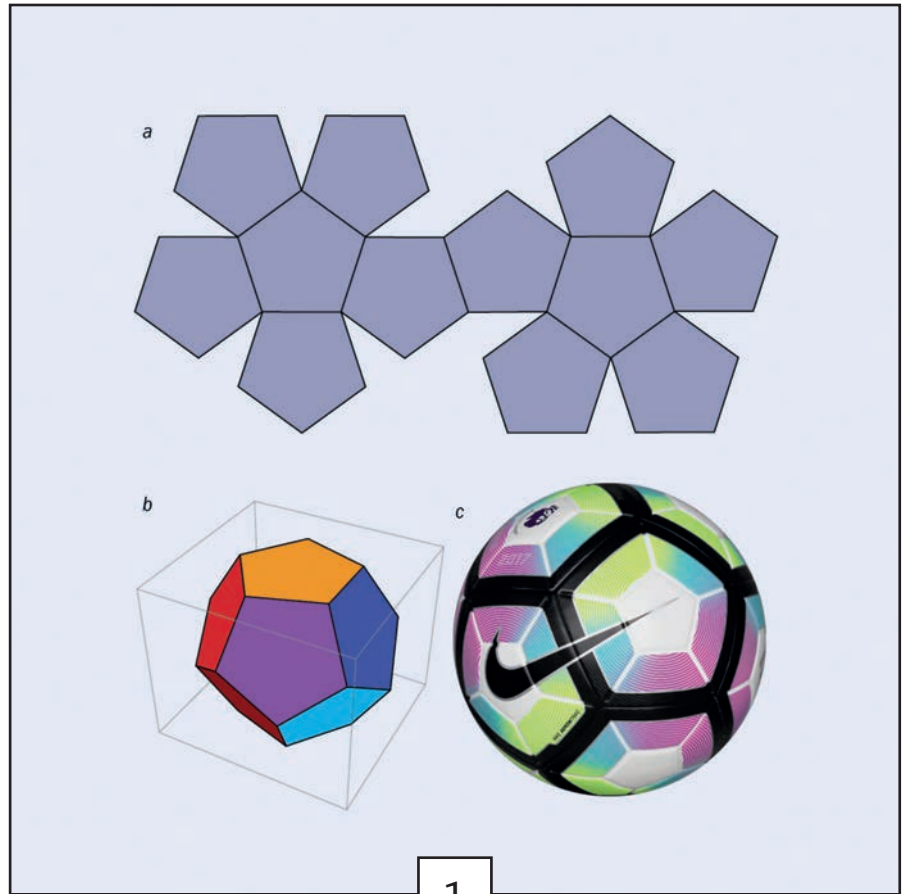
Mavisinin yapısını ve üzerinde yapılan deneylerin mantığını anlamak için öncelikle birkaç temel kavramın açıklanması gerekiyor. Düzgün geometrik şekiller kullanarak bir yüzeyi kaplamaya çalıştığımızı düşünelim. Karelerle ya da altıgenlerle bir yüzeyi tamamen kaplamak mümkündür. Ancak beşgenlerle imkânsızdır. Üç boyuttaysa durum tamamen farklıdır. Beşgenleri bir araya getirerek düzgün on iki yüzlü bir şekil yapabilirsiniz. Hatta beşgenlerin yüzeylerini biraz eğerek şekli bir futbol topuna da çevirebilirsiniz. Altıgenlerle futbol topu yapmaksa imkânsızdır. Kapalı bir şekil elde etmek için altıgenlerin arasında kalan boşlukları beşgenlerle doldurmak gerekir.

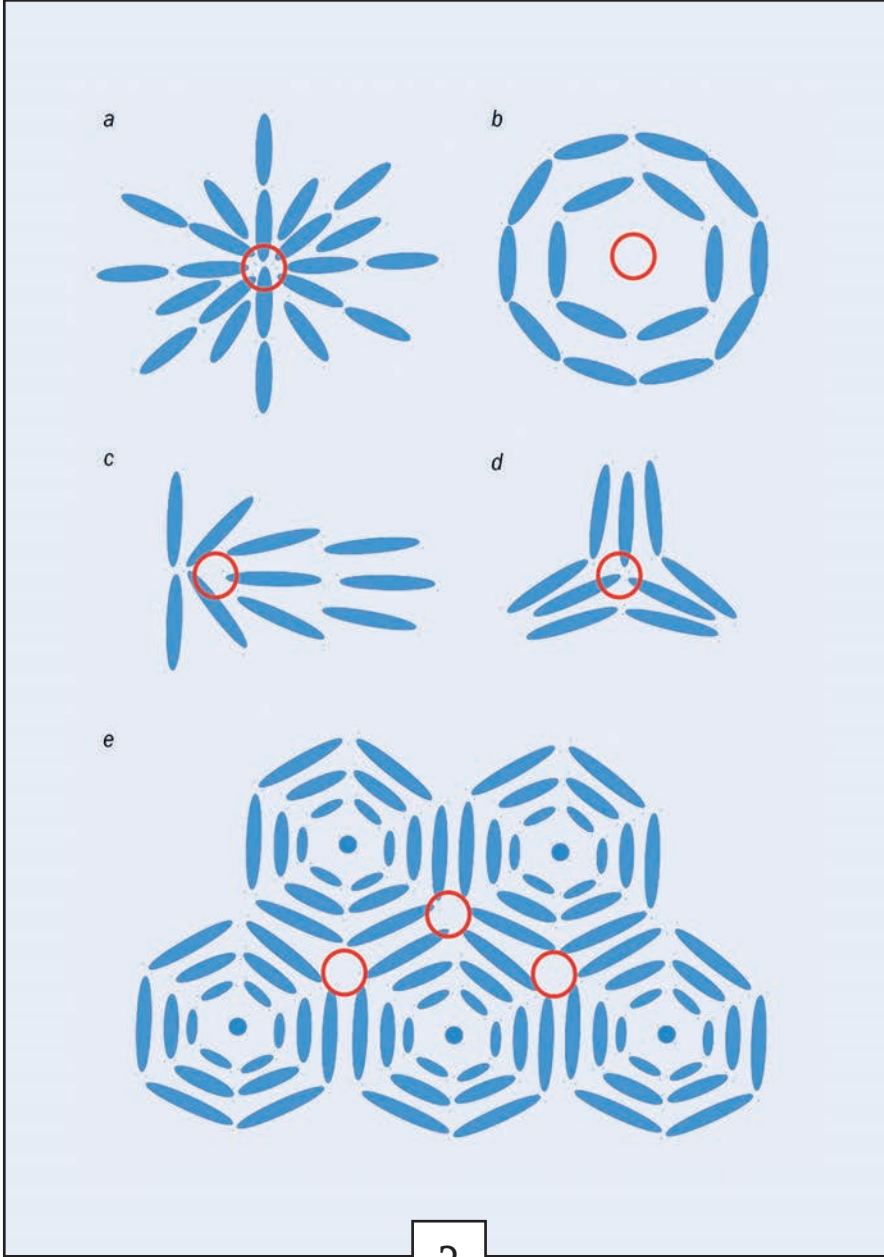
Otto Lehmann





Bir yüzeyi beşgenlerle ya da bir küreyi altıgenlerle başarısız bir biçimde kaplamaya çalışmak geometride “topolojik hüsrân” olarak adlandırılır. Sonuçta şekillerin düzgün bir biçimde bir araya gelmediği yerlerde kusurlar oluşur. Aynı durum sıvı kristal yapıları için de geçerlidir. Sıvı kristal moleküllerinin katmanlar içindeki yönelimleri çoğu yerde belirli bir doğrultudadır. Ancak bazı bölgelerde moleküllerin doğrultusu tanımlanamaz. Bu “topolojik kusur”larda moleküller her yöne doğru yönelirler. Kusurlu yapıların bazı örneklerini arka sayfada görebilirsiniz. Moleküllerin yöneliminin belirli bir doğrultuda olmadığı kusurlu bölgeler kırmızı halkalarla işaretli.





2

Mavi fazların sıradan sıvı kristal fazlarından farkını anlamak için bir kavrama daha ihtiyacımız var. Sıvı kristal molekülleri sadece kiral olduklarında (ayna görüntülerinden farklı olduklarında) mavi fazlar oluşturabilir. Sıradan kolesterik sıvı kristallerde moleküllerin yöneliminin paralel olduğu eksen sadece bir yönde dönerken mavi fazlarda birden fazla yönde

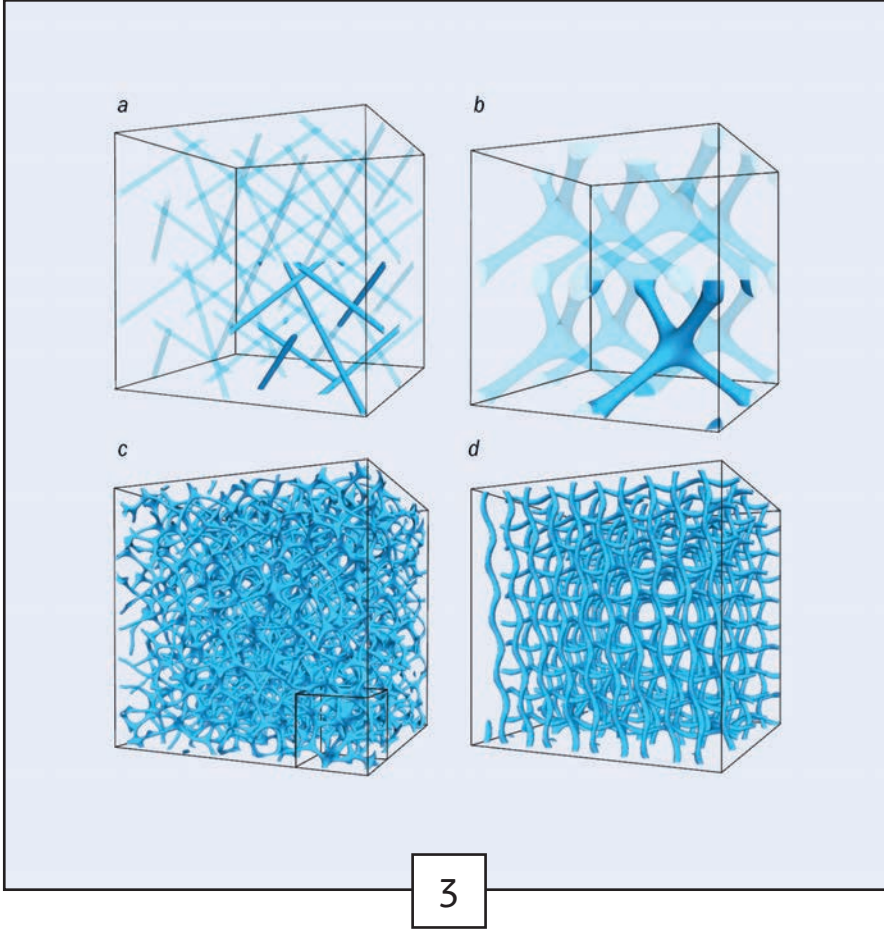
döner. Örneğin Şekil 2'deki silindirlerde eksen iki ayrı yönde dönüyor. Bu silindirler düzgün bir biçimde bir araya gelmezler, aralarında kusurlu bölgeler oluşur. Şekildeki gibi düzgün kesit yüzeylerine sahip yapılar esasen sadece güçlü elektrik ve manyetik alanların varlığında oluşur. Normal koşullar altındaysa silindirlerin oluşturduğu örüntü üç boyutludur.

Üç boyutta tüm moleküllerin yönelimlerini betimlemek çok zor olduğu için mavi fazları betimlerken ya silindirlerin ya da kusurların oluşturduğu örüntüler gösterilir. İkinci tür çizimler özellikle görsel bakımdan çok güzeldir. Kusurlu bölgelerin art arda eklenmesiyle “çizgi kusur” olarak adlandırılan yapılar oluşur. Mavi faz I'de çizgi kusurlar birbirlerinden ayrıkken mavi faz II'de birleşerek dörtlü bağlantılar oluştururlar (bkz. Şekil 3). Kuramsal hesaplar, mavi faz II'nin yapısındaki en zayıf bölgelerin dörtlü bağlantılar olduğunu gösteriyor.

## Mavi Sisin Yapısı

Mavi fazlar I ve II'nin yapısı 1980'lerin sonuna gelindiğinde iyice anlaşılıyordu. Ancak mavi faz III'ün yapısı hâlâ tartışılıyordu. 1990'ların sonlarında azalmaya başlayan konuyla ilgili araştırmalar, yüksek hızlı süperbilgisayarların geliştirilmesinden sonra yeniden ivme kazandı. Araştırmacılar yeni algoritmalar geliştirerek sıvı kristallerin yapılarını incelemeye devam etti.

Geçtiğimiz on yılda ilk olarak bilgisayar benzetimleriyle mavi sisin yapısı için muhtemel bir aday bulundu (bkz. Şekil 3). Hesaplar, doğru basınç ve sıcaklık değerlerinde ortaya çıkan bu yapının mavi sisle alakalı olduğuna işaret eden çeşitli sonuçlar veriyordu. Birincisi, benzetimlere göre yapı hayli kararlıydı. İkincisi, yapının serbest enerjisi öne sürülebilecek herhangi bir düzenli yapıdan daha düşüktü. Bu iki özelliğin amorf (düzensiz yapıda) bir malzeme için bir araya gelmesi şaşırtıcıdır.



bu düşüncelerini hayata geçirdiklerinde elde ettikleri görüntülerin kuramsal hesaplar tarafından öne sürülen amorf yapıyla aynı olduğunu görmüş.

Yapılan son araştırmalar sadece mavi sisin yapısını çözmekle kalmadı. Polimer iskeleti elde etmek için geliştirilen yöntemin teknolojide önemli uygulamaları da var. Polimer iskeletin içi kirall olmayan bir sıvıyla doldurulduğunda, yapısı mavi faza benzer bir malzeme elde ediliyor. Üstelik bu yöntem malzemeyi mavi sisin kararlı olduğu sıcaklık aralığının dışında da elde etmeye imkân veriyor.

Günümüzde sıvı kristaller daha çok ekranlarda kullanılıyor. Malzemenin değişik fazlar arasındaki geçişlerinden faydalanılarak ışığın geçişi kontrol ediliyor. Aynı durum mavi sis için de geçerli. Polimer iskeletin içindeki mavi sis fazına elektrik alan uygulandığında tüm moleküller alana paralel bir biçimde yöneliyor ve ışığın geçmesi mümkün oluyor. Elektrik alan kaldırıldığında ışık geçemiyor.

Koreli teknoloji devi Samsung 2008 yılında mavi faz sıvı kristal kullanılarak bir prototip LCD ekran üretmişti. Bu ilk prototipin endüstriyel ölçekte üretimi yapılmısa da yakın zamanlarda yeni tasarımlar ortaya atıldı. Mavi sisin yakın gelecekte ekran teknolojilerinde yerini alacağı düşünülüyor. ■

#### Kaynak

Henrich, Oliver ve Marenduzzo, Davide, "The secret of the blue fog", *Physics World*, Cilt 30, Sayı 4, s. 25-29, Nisan 2017.

Örneğin amorf malzemelerin tipik örneği olan camlar yarı kararlıdır. Malzemenin düzenli kristal halinin serbest enerjisi cam halininkinden daha düşüktür. Bu yüzden mavi sisin hem kararlı hem de camsı yapıda olması bakımından çok nadir bir örnek olduğu söylenebilir. Öne sürülen yapının üçüncü özelliği ise bir elektrik alanının varlığında -gerçekte olduğu gibi- düzenli bir ağı halini almasıydı.

Mavi sisin yapısıyla ilgili kuramsal tahminlerin doğru olup olmadığının belirlenmesi için deneyler yapılması gerekiyordu. Ancak yapıdaki çizgi kusurları doğrudan gözlemlemek imkânsız gibi görünüyordu. Kusurlu bölgelerin kalınlığı yaklaşık 10 nanometre civarındayken optik

mikroskopların çözünürlüğü ise 200 nanometre civarındadır. Bu duruma çare arayan araştırmacılar, çizgi kusurları gözlemlemek için yeni bir yöntem geliştirdi. Mavi fazın içine uzun polimer molekülleri karıştırarak çizgi kusurların tamamen kapanabileceğini fark ettiler. Kusurlu bölgelerin bertaraf edilmesiyle malzeme daha kararlı hale gelecekti. Eğer polimer eklenmiş mavi fazın içindeki sıvı kristal bölgeleri yıkabilirse geriye çizgi kusurların orijinal yapısını koruyan bir polimer iskelet kalacaktı. Daha sonra taramalı elektron mikroskobuyla polimer iskeletin yapısı görüntülenebilir ve böylece çizgi kusurların oluşturduğu ağı yapısı anlaşılabilirdi. Araştırmacılar