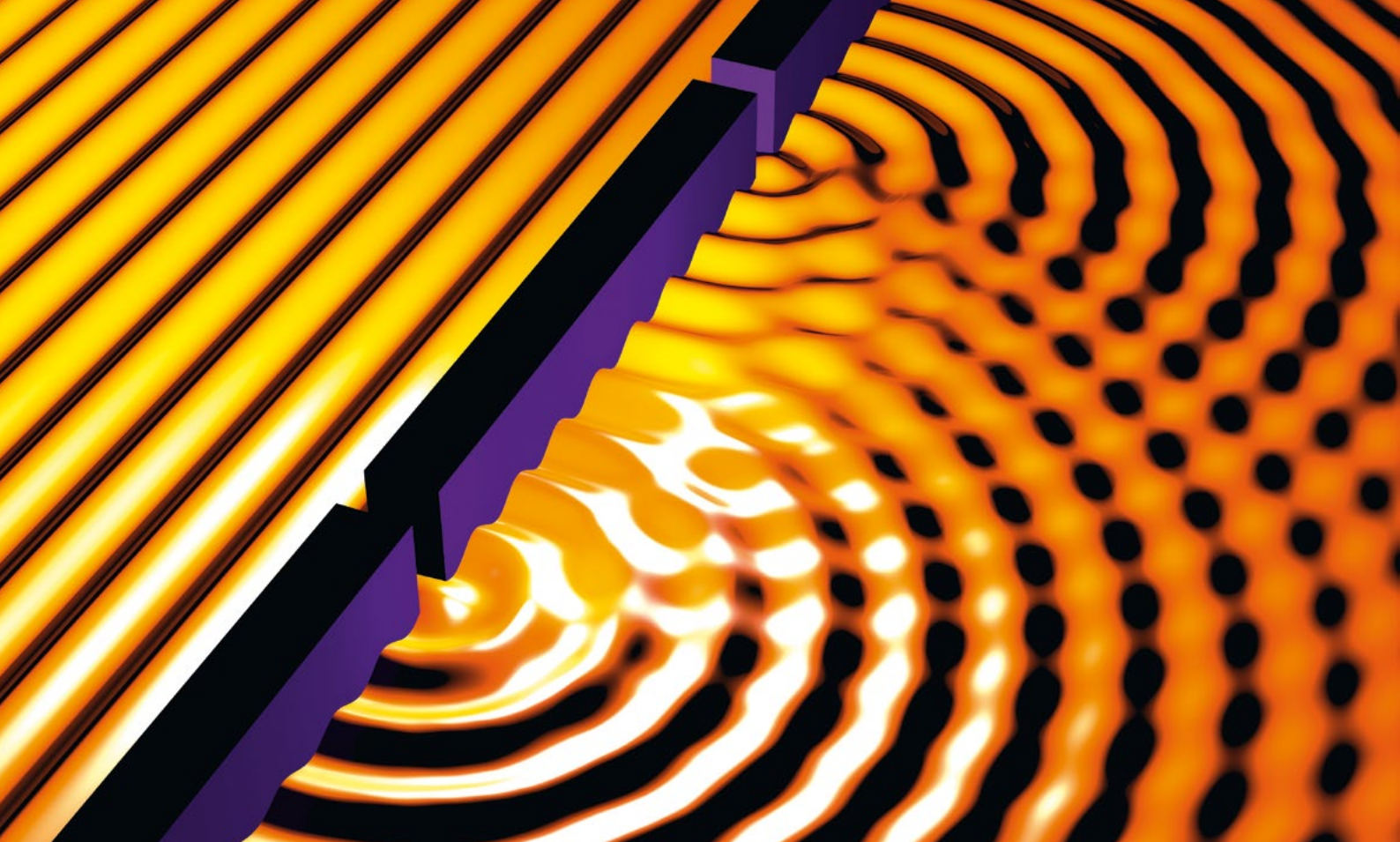
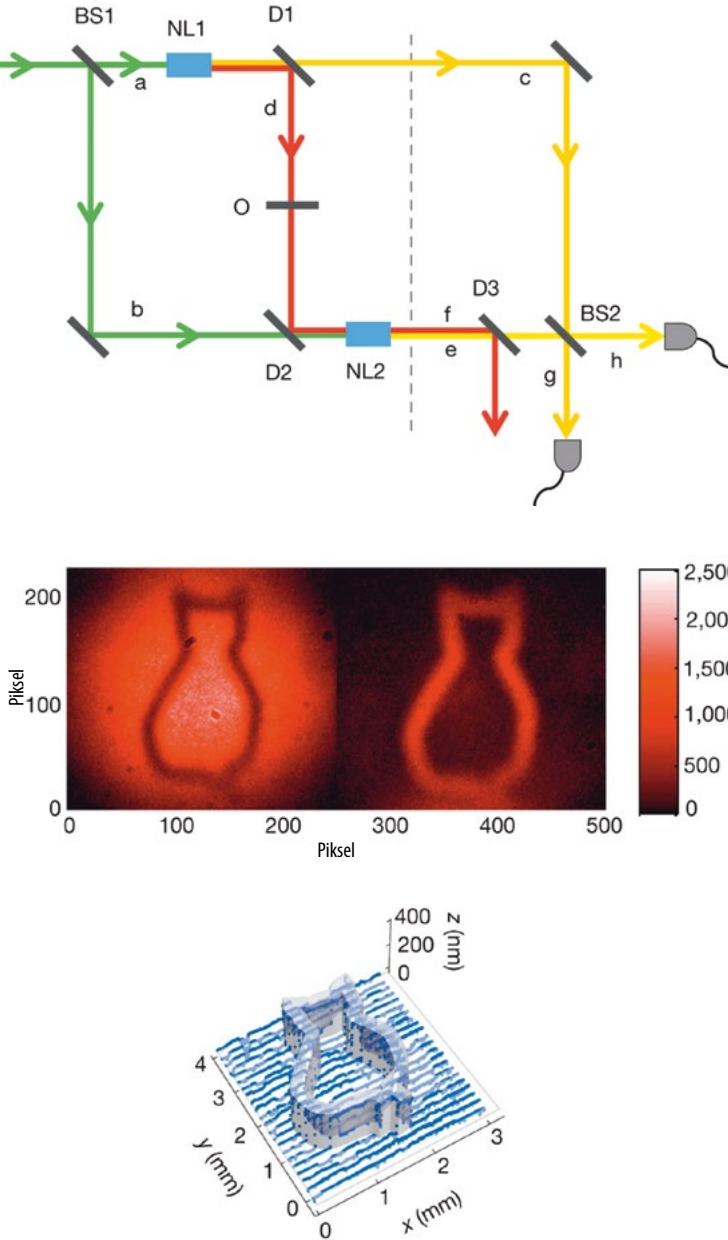


Bakmadan Gören Kamera

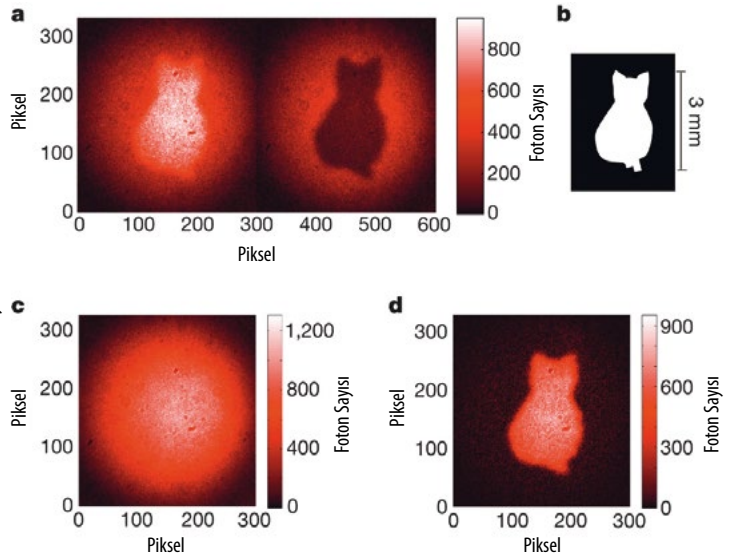


İnsan gözü ancak dalga boyu belirli bir aralıkta olan ışığı algılayabiliyor. Bu aralığın en altında dalga boyu yaklaşık 400 nanometre (nanometre: metrenin milyarda biri) olan mavi ışık, en üstünde ise dalga boyu yaklaşık 800 nanometre olan kırmızı ışık vardır. Mavi ışıkla kırmızı ışık arasındaysa Gökkuşağı'nın diğer renkleri yer alır.



Gözümüzün cisimleri hangi renkte algılayacağını belirleyen şey cisimlerden yansıyan ışıktır. Örneğin bir cismin üzerine Gökkuşağı'ndaki tüm renkleri içinde barındıran beyaz ışık gönderilirse, cisim beyaz ışığın içerdiği bazı renkleri soğurur, bazılarını ise yansıtır. İnsan gözünün algıladığı, cisimlerden yansıyan ışıktır. Dolayısıyla bir cismin hangi renkte algılanacağını o cismin ışıkla nasıl etkileştigiyle bağlıdır.

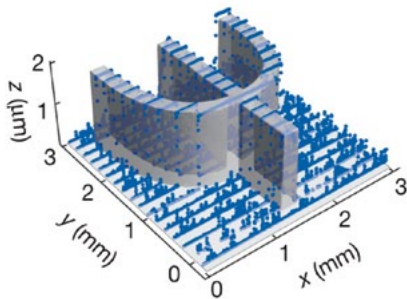
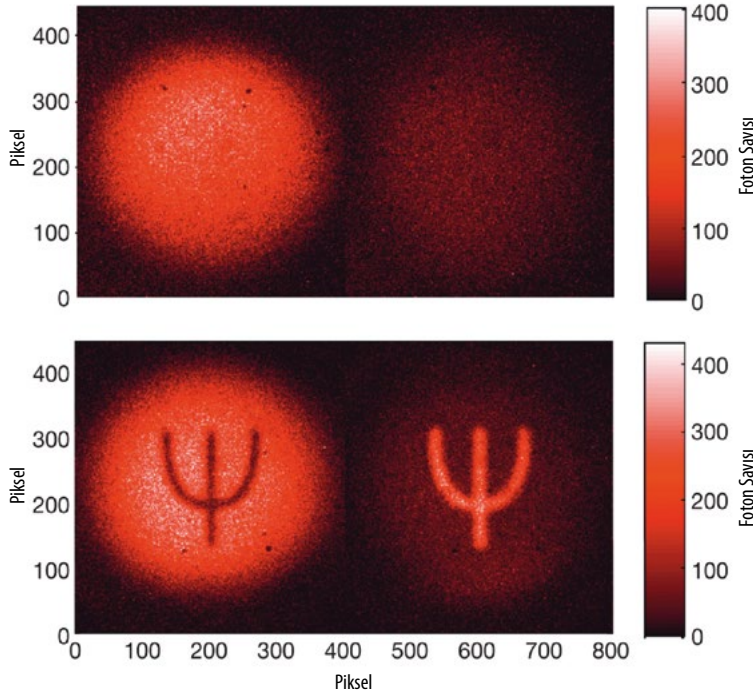
Bugüne kadar cisimleri görüntülemek için geliştirilen teknolojik cihazların tasarımını yapanlar insanların görme algısından esinleniyordu. Teknolojik cihazlar insan gözünün algılayamadığı çeşitli dalga boylarındaki ışığı da algılayabilir. Ancak bütün bu cihazlar yine cisimlerden yansıyan ışıkla çalışır. Avusturya'daki çeşitli üniversitelerde ve araştırma enstitülerinde çalışan bir grup bilim insanının geliştirdiği yeni bir yöntemse, ilk kez cisimlerin kendileriyle etkileşmeyen dalga boylarındaki ışık kullanılarak görüntülenmesini sağlıyor. Birbirine dolanık durumdaki foton çiftlerinden yararlanılan yeni yöntemde fotonlardan biri cisimi aydınlatmak, diğeri ise görüntüyü elde etmek için kullanılıyor. Bu yöntemin en önemli özelliği, kameraya giren fotonlar ile cisimle etkileşen fotonların farklı frekansta olabilmesi. Böylece insan gözünün algılayamayacağı frekanstaki ışıkla aydınlatılan cisimler, insan gözünün algılayabileceği renklerde görüntülenebiliyor. Geliştirilen yöntemin en ilginç özelliği ise, hâlâ tartışma konusu olan bir paradoks sayesinde çalışıyor olması.



Geçmiş Geleceğe Bağlı mıdır?

Kuantum mekaniğinin gelişimindeki en önemli aşamalardan biri Luis de Broglie'nin maddenin ikili doğası fikrini öne sürmesiydi. Her parçacığa eşlik eden bir madde dalgası olduğunu ifade eden bu görüş deneylerle de doğrulanır. Elektronlar, nötronlar ve diğer parçacıklar, deney düzeneklerinin ayarlanma biçimlerine göre bazı durumlarda parçacık gibi bazı durumlarda ise dalga gibi davranır. Bu durumun en bilinen örneklerinden biri çift yarıklık deneyidir. Bu deney düzeni bir elektron kaynağı, üzerinde iki yarıklık bulunan bir levha ve bir detektör içerir. Elektronların, kaynaktan levhaya doğru fırlatıldıklarında bir girişim deseni oluşturmaları, elektronların dalga gibi davrandığını gösterir. Girişim deseni sadece aynı anda çok sayıda elektron fırlatıldığı zaman değil, elektronlar farklı zamanlarda tek tek fırlatıldığı zaman da oluşur.

Bu durum bir elektronun iki yarıktan da geçerek kendi kendisiyle girişim yaptığını gösterir. Deney düzeneğindeki yarıklardan biri kapatıldığı zamansa girişim deseni yok olur. Bu durumda elektronlar dalga gibi değil parçacık gibi davranmaya başlar. Peki, elektronların dalga ya da parçacık gibi davranmasını belirleyen nedir? Elektronlar, iki nokta arasında yol alırken takip edebilecekleri sadece bir rota varsa (levhanın üzerinde sadece bir yarık olduğu durum) parçacık gibi, birden fazla rota varsa (levhanın üzerinde iki yarık olduğu durum) dalga gibi davranır. Ancak bu durumda akla şu soru gelir: Elektronlar deney düzeneğinin ne şekilde ayarlandığını nasıl bilir? Elektronlar, hareketlerine başladıktan sonra deney düzeneğinde bir değişiklik yapılırsa ne olacaktır? Örneğin çift yarık deneyi yapılırken, elektronlar hareketlerine başladıktan ve yarıklardan geçmeleri için yeteri kadar süre beklendikten sonra yarıklardan biri kapatılırsa ne olur? Elektronlar levhanın içinden geçerken muhtemel iki ayrı yol olduğu için elektronların dalga gibi davrandığı mı gözlenir? Yoksa deney düzeneğinin en son haline göre tek bir muhtemel yol olduğu için elektronların parçacık gibi davrandığı mı gözlenir?



Deneyler, gözlemlenen sonuçların deney düzeneğinin en son haline bağlı olduğunu gösterir. Öyleyse elektronlar dalga ya da parçacık gibi davranmaya ne zaman karar verir? Ölçüm yapıldıkça elektronların hem dalga hem de parçacık gibi davranması mümkün müdür? Yoksa J. A. Wheeler'ın gayet yerinde bir biçimde sorduğu gibi *geçmiş geleceğe bağlı mıdır*?

Bu paradoks hâlâ tartışma konusu olsa da parçacıkların dalga özelliği göstermesi için birden fazla muhtemel rota olması gerektiği deneylerle doğrulanan bir gerçek. Araştırmacılar da tasarladıkları yeni görüntüleme yönteminde bir girişim deseni oluşturabilmek için deney düzeneğini, fotonların takip ettiği yol belirlenemeyecek yani fotonlar dalga özelliği gösterecek biçimde ayarlamış.

Doğrusal Olmayan Optik

Geliştirilen yeni görüntüleme yönteminde *doğrusal olmayan optikten* de yararlanılıyor. Optiğin ışığın doğrusal olmayan (ortamın ışığın elektrik alanıyla doğrusal olmayan bir biçimde etkileştiği) ortamlardaki davranışlarını inceleyen bu dalının uygulama alanlarından biri de dolanık foton çiftlerinin üretilmesi. Işıkla doğrusal olarak etkileşmeyen kristallerin içine gönderilen bir foton yok olurken dolanık bir foton çifti oluşuyor. Bu süreçte -sadece yok olan foton ve oluşan fotonlar göz önüne alındığı zaman- toplam enerji ve toplam momentum korunuyor ki, bu durum dolanık fotonların üretim sürecinin kristallerin durumunu değiştirmedikçe gösteriyor. Ayrıca iki fotonun durumlarının birbirine dolanık olması biri üzerinde ölçüm yaparak diğeri hakkında da bilgi edinilebileceği anlamına da geliyor. Dolanıklık ile ilgili daha açıklayıcı bir yazıyı *Bilim ve Teknik*'in 562. sayısının *Merak Ettikleriniz* köşesinde bulabilirsiniz.

Görüntüleme Yönteminin Çalışma İlkesi

Kameranın görüntüleme yöntemi ile ilgili şematik bir çizimi bir önceki sayfada görebilirsiniz. Süreç, bir ışık ışınının, ışın ayırıştırıcı yardımıyla (BS1) ikiye ayrılmasıyla başlıyor. Işının bir kolu ışıkla doğrusal olarak etkileşmeyen bir kristale (NL1) yönlendiriliyor ve dolanık durumda ancak dalga boyları farklı bir foton çifti üretiliyor. Bu fotonlardan uygun dalga boyunda olanı dikroik (sadece belirli dalga boylarını yansıtan) ayna (D1) yardımıyla görüntülenmek istenen cismin üzerine yönlendiriliyor. Cisimle etkileşen fotonlar daha sonra ikinci bir dikroik ayna (D2) yardımıyla ışıkla doğrusal olarak etkileşmeyen başka bir kristale (NL2) doğru yönlendiriliyor. Bu fotonlar, başlangıçta ikiye bölünen ışık ışınının doğrudan ikinci doğrusal olmayan kristale yönlendirilen kısmının üretilmesine sebep olduğu dolanık foton çiftleriyle karışıyor. Daha sonra cisim aydınlatmak için kullanılan fotonlar üçüncü bir dikroik ayna (D3) yardımıyla ışıktan ayrılıyor. Ancak bu fotonlarla dolanık durumda olan ve görüntülenmek istenen cisimle hiç etkileşmemiş fotonlar detektörlere doğru yol alıyor. İkinci bir ışın ayırıştırıcı (BS2) farklı kollardan gelen ışınları yansıtarak ya da geçirerek fotonların iki ayrı detektöre girmesini sağlıyor.



Bu düzeneğin en önemli parçasının ikinci kristal (NL2) olduğu söylenebilir. Bu kristalden çıkan ve görüntülenmek istenen cisimle etkileşmeye uygun frekanstaki fotonların kaynağı, kristalin kendisi olabileceği gibi, birinci kristalden çıkan ve cismin üzerine gönderilen fotonlar da olabilir. Hangi fotonların cisimle etkileştikten sonra, hangilerininse doğrudan bu kısma ulaştığının belirlenememesi, cisimi aydınlatan fotonların olası her iki rotayı da takip ederek kendi kendileriyle girişim yapmasını mümkün kılıyor. Bu durumun gerçekleşmesi için cismin üzerine gönderilen ışınların cisim tarafından tamamen soğurulmaması da gerekiyor.

Geliştirilen görüntüleme yönteminin en önemli özelliği ise görüntüyü elde etmek için kullanılan fotonların hiçbirinin görüntülenmek istenen cisimle etkileşmemesi. Detektörler tarafından yakalanan fotonlar ile cisimi aydınlatmak için kullanılan fotonların durumlarının birbirine dolanık olması sayesinde cismin görüntüsü elde edilebiliyor. Bu durum cisimi aydınlatmak ve görüntü elde etmek için kullanılan fotonların farklı dalga boylarında olmasına da imkân veriyor. Böylece yeni yöntemi kullanarak, insan gözünün doğrudan algılayamayacağı dalga boylarındaki ışıkla aydınlatılan cisimler, insan gözünün algılayabildiği renklerle görüntülenebiliyor.

Uygulamalar

Araştırmacılar, geliştirdikleri yöntemi çeşitli cisimleri görüntülemek için kullanmış. Deneyler sırasında 1550 nanometre dalga boyundaki ışınlar (insan gözünün algılayamadığı kızılötesi ışınlar) cisimi aydınlatmak için, 810 nanometre dalga boyundaki (kırmızı renkli) ışınlar ise görüntüyü elde etmek için kullanılmış. Yöntem mukavvadan kesilmiş, ke-

di şeklindeki bir nesneye uygulandığı zaman iki detektörden birinde yapıcı, diğerinde ise yıkıcı girişim gözleniyor. Elde edilen görüntülerde girişimin, sadece ışınların cismin içinden geçtiği bölgede oluştuğu görülüyor.

Yeni yöntem 500 mikrometre kalınlığındaki silikon bir levhayı görüntülemek için de kullanılmış. Silikon, 810 nanometre dalga boyundaki ışığı geçirmediği için bu levhayı doğrudan kırmızı renkli ışık ile görüntülemek mümkün olamazdı. Ancak silikon levha 1550 nanometre dalga boyundaki ışığı geçirdiği için yeni yöntem sayesinde levha, kırmızı renkli olarak görüntülenebiliyor.

Sonuç

Geliştirilen yeni yöntemin görüntüleme konusunda çok büyük bir ilerleme olduğu söylenebilir. Gerçi görüntülemek istenen cismin, hassas bir biçimde ayarlanmış bir deney düzeneği içine yerleştirilmesi gerektiğinden yöntemin günlük hayatımızda yer edeceği söylenemez. Ancak cisimlerin kendileriyle etkileşmeyen fotonlar kullanılarak görüntülenebilmesi, bilimsel araştırmalar açısından çok önemli bir gelişme. Örneğin bu yöntem sayesinde, insan gözünün doğrudan algılayamadığı pek çok biyolojik molekül gelecekte renkli olarak görüntülenebilir.

Kaynak

- Lemos, G. B., ve ark., "Quantum imaging with undetected photons", *Nature*, Cilt 512, s. 409, 2014..