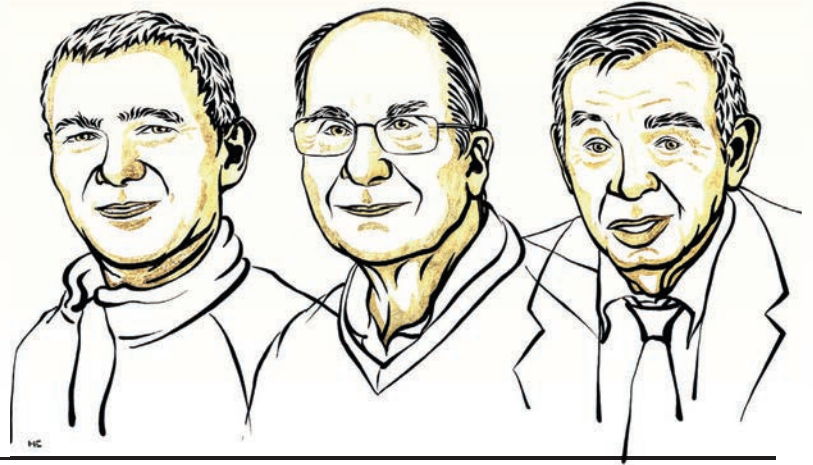


2023 Nobel Kimya Ödülü



Kuantum Noktalarının Keşfi ve Üretimi

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



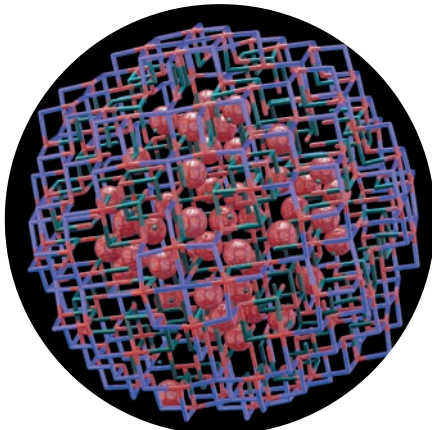
Nobel Kimya Ödülü'nün 2023 yılı sahipleri Mounqi Bawendi, Louis Brus ve Alexei Ekimov oldu. İsveç Kraliyet Bilimler Akademisi, araştırmacıların kuantum noktalarının keşfi ve üretimi üzerine yaptıkları çalışmalar nedeniyle ödüle layık görüldüklerini açıkladı.



Klasik fizik yasalarının geçerli olduğu makroskobik dünyada bir cismin büyüklüğünün değişmesi, cismin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli bir değişime neden olmaz. Bir parçacığın boyutları nanometrelerle ölçülmeye başladığında ise kuantum etkileri ortaya çıkar ve parçacığın fiziksel ve kimyasal özellikleri büyüklükle birlikte değişmeye başlar. Örneğin makroskobik bir altın parçası sarı renklidir. Altın kuantum noktalarının rengi ise büyüklüklerine bağlı olarak mavi veya kırmızı da olabilir.

Öncül Çalışmalar

Kuantum noktalarının sıra dışı özelliklere sahip olabileceği 1930'lardan beri biliniyordu. Fizikçi Herbert Fröhlich, 1937 yılında, kuantum mekaniğini kullanarak kuantum noktalar üzerine kuramsal çalışmalar yapmıştı. Elde ettiği sonuçlar malzemenin boyutları küçüldükçe elektronlara daha az yer kalacağını, hem dalga hem de parçacık özelliği gösteren bu temel parçacıkların bir araya sıkışmasının da malzemenin özelliklerinde önemli değişimlere sebep olacağını göstermişti. Takip eden dönemde başka araştırmacılar da büyüklüğe bağlı kuantum etkileriyle ilgili kuramsal tahminler yaptılar. Ancak o yıllarda bu kuramsal çalışmaları deneylerle doğrulamak zordu.



Ella Maru Studio / SPL

1970'lerde araştırmacılar nanoyapılar üretmeye başladılar. Bir grup araştırmacı, nanometre kalınlığında kaplama malzemeleri üretti. Deneyler, kuramsal tahminlerle uyumlu bir biçimde, kaplamanın renginin kalınlığına bağlı olarak değiştiğini gösterdi. Ancak kaplamayı üretmek için yararlanılan yöntemlerin pratik amaçlar için büyük ölçekte kullanılması kolay değildi.

Camların Renkleri

İnsanlar binlerce yıldır cam üretiyor. Cam üreticileri binlerce yıldır gümüş, altın, kadmiyum gibi katkı malzemelerini kullanarak ve üretim sıcaklıklarıyla oynayarak camlara renk kazandırıyor. Işığın optik özellikleri üzerine çalışmalar yapan fizikçiler de 1800'lerden beri renkli camlardan yararlanıyorlar. Başlangıçta fizikçiler renkli camlardan sadece belirli dalga boyuna sahip ışık ışınlarını filtrelemek için yararlanıyorlardı. Daha sonraları farklı deneylere daha uygun camlar bulabilmek için kendileri de cam üretmeye başladılar. Fizikçilerin dikkatini çeken önemli noktalardan biri, tek bir katkı malzemesi kullanılarak birbirinden çok farklı renklerde camlar elde edilebilmesiydi. Bilimsel çalışmalar cama renk kazandırmanın, içindeki nanoparçacıklar olduğunu ve nanoparçacıkların büyüklüğü değiştikçe rengin de değiştiğini gösteriyordu.

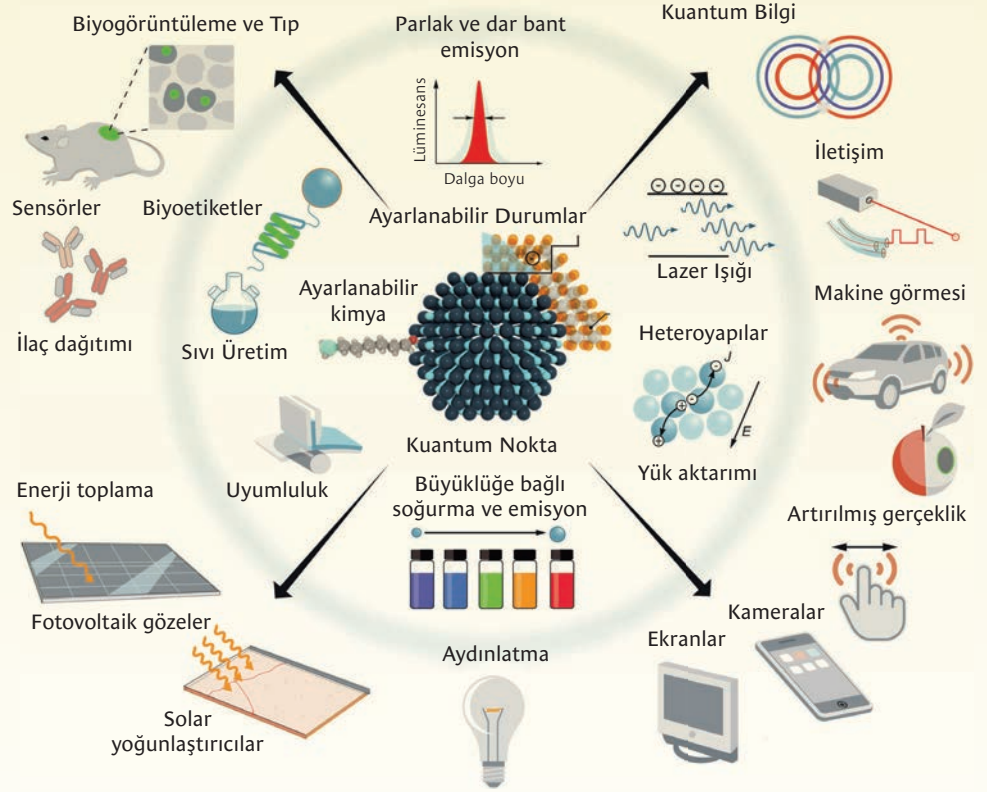
Alexei Ekimov doktora çalışmaları sırasında yarı iletkenler üzerine çalışmalar yapmıştı. Mikroelektronik endüstrisinde yarı iletken malzemelerin kalitesini ölçmek için optik yöntemler kullanılır. Ekimov, aşına olduğu bu yöntemleri kullanarak 1980'lerin başlarında S. I. Vavilov Eyalet Optik Enstitüsünde renkli camları incelemeye başladı. Sistematik bir biçimde bakır klorür katkılı camlar üretti. Cam eriyiklerini 1 saat ile 96 saat arasında değişen sürelerle 500 °C ile 700 °C arasında değişen sıcaklıklara ısıttı. Cam soğuyup katılaştıktan sonra X ışını ile camların yapısını inceledi. Elde ettiği sonuçlar, camların içinde ufak bakır klorür kristalleri olduğunu ve kristallerin büyüklüğünün üretim sürecinin detaylarına bağlı olarak değiştiğini gösterdi. Bazı örneklerdeki kristaller sadece 2

nanometre büyüklüğündeyken bazılarındaki kristallerin boyutları 30 nanometreye kadar çıkıyordu. Ayrıca kristallerin boyutları küçüldükçe soğurdıkları ışığın rengi giderek maviye kayıyordu. Büyüklüğe bağlı bir kuantum etkisini gözlemlediğini fark eden Ekimov, 1981 yılında yaptığı çalışmalarını özetleyen bir makale yayımladı. Ekimov'un çalışmaları, kuantum noktalarının "ilk kez kasten üretilmesi" olarak kayıtlara geçti.

Çözeltilerdeki Kuantum Noktalar

Louis Brus, 1980'lerin başlarında Bell Laboratuvarları'nda kimyasal tepkimeleri güneş enerjisi kullanarak gerçekleştirmek üzerine çalışmalar yapıyor, bu amaca ulaşmak için kadmiyum sülfürden yararlanıyordu. Kadmiyum sülfürün temel işlevi, topladığı güneş enerjisini kimyasal tepkimelere aktarmaktı.

Bir malzeme ne kadar küçük parçalara ayrılırsa içerdiği parçacıkların toplam yüzey alanı artar. Brus da daha fazla güneş enerjisi toplayabilmek için çözelti içerisindeki kadmiyum sülfür parçacıklarını küçültme yoluna gitti. Elde ettiği sonuçlar şaşırtıcıydı. Parçacıkların boyutları küçüldükçe optik özelliklerinin değiştiğini fark etmişti. Farklı büyüklüklerdeki parçacıkların optik özelliklerini karşılaştırmaya başladı. Parçacıkların boyutları küçüldükçe renklerinin maviye doğru kaydığını tespit etti. Brus, ilk çalışmalarını 1983 yılında yayımladıktan sonra başka malzemelerde de büyüklüğe bağlı optik değişimleri inceledi. Malzeme türünden bağımsız olarak parçacıkların boyutları küçüldükçe renklerinin maviye kaydığını tespit etti. Bu aslında kuantum mekaniksel olarak yarıiletkenlerde etkin bant aralığının değişimine bağlı olarak fotofiziksel özelliklerin değişimini göstermekteydi.



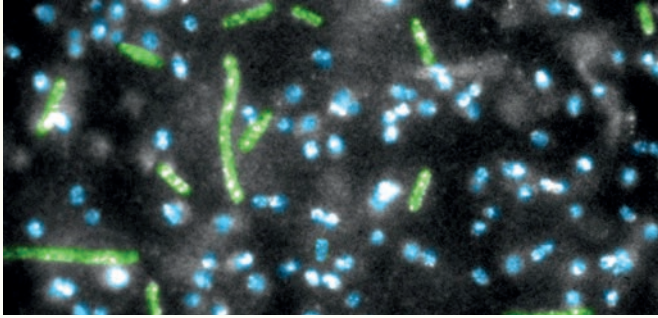
Kuantum noktalarının uygulama alanları

Brus'un kuantum noktaları üretmek için kullandığı yöntemler ile ilgili önemli sorunlardan biri, ortaya çıkan ürünlerin kalitesinin kontrol edilememesiydi. Kuantum noktaların kristal yapıları kusurlu oluyordu. Ayrıca parçacıkların ortalama büyüklüğü kontrol edilebilse de tek tek büyüklükleri arasında önemli farklar oluyordu. Eğer tüm kuantum noktaların benzer büyüklükte olması istenirse üretimden sonra farklı büyüklükteki noktaların karmaşık yöntemlerle birbirinden ayrıştırılması gerekiyordu.

Aynı Büyüklükte Kuantum Noktalar

Mounghi Bawendi, 1988 yılında Brus'un laboratuvarında doktora sonrası araştırmacı olarak bulunuyor, kuantum noktaların üretimi için yeni yöntemler geliştirmeye çalışıyordu. Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde öğretim üyesi olduktan sonra da aynı konu üzerine çalışmaya devam etti. Bawendi, 1993 yılında aynı büyüklükte kuantum noktalar üretmenin bir yolunu buldu.

Bawendi'nin geliştirdiği yöntemde, bir çözeltinin içine, çözeltinin doygun hle gelmesini sağlayacak kadar malzeme ekleniyor. Böylece çözeltinin içinde ufak kristaller ortaya çıkması sağlanıyor. Daha sonra çözeltinin sıcaklığı kontrollü bir biçimde değiştirilerek belirli bir büyüklükte nanokristaller oluşması sağlanıyor. Bu süreç sırasında çözelti, ortaya çıkan kristallerin pürüzsüz bir yzeeye sahip olmasına yardımcı oluyor. Bawendi'nin koloidal sentezinde sıcak prekürsor enjeksiyonu, çekirdeklenme oluşumu, yüksek monomer konsantrasyonu bu seviyede eř boyuta sahip nanokristal oluşumunda ne çıkıyordu. Küçük partiküller büyük partiküllerden daha hızlı büyüyerek boyut odaklanmasına sebep oluyordu.



E. coli bakterilerine (yeşil) bağlanan kuantum noktalar (parlak mavi)

Bawendi'nin geliştirdiği yöntem hem basitti hem de neredeyse mükemmelen kuantum noktalar üretmeye imkn veriyordu. Yeni yöntem sayesinde kuantum noktalar üzerine yapılan bilimsel çalışmaların sayısı hızla arttı ve endüstriyel kullanımının n açıldı.

Günümüzde Kuantum Noktalar

Kuantum noktalar günümüzde pek çok nanoteknolojik cihazın bileşenleri arasında yer alıyor. Örneğin QLED teknolojisi kullanılan televizyon ekranlarında kuantum noktalardan yararlanılıyor. QLED ekranlarda kuantum noktalar mavi LED ile aydınlatılmış bir işığın önüne bir film içerisine konumlandırıldıklarında mavi fotonları soğurup çok saf şekilde yeşil ve kırmızı renge dönüştürüyor. Bu sayede ekranlarda doğadaki renk canlılığında genişlikte bir renk skalası oluşuyor.



içerisine kuantum noktalar enjekte edilmiş bir hücre

Biyokimyada ve tıpta da kuantum noktalardan yararlanılıyor. Kuantum noktalar inorganik malzemeler olsa da etrafındaki ligandlar sayesinde ortam ile etkileşiyor ve hedef temelli uygulamalar için kullanılabilir. Biyomolekllere iliştirilen kuantum noktalar, hücrelerin ve organların haritasını çıkarmak için kullanılıyor. Hekimler tümörleri takip etmek için kuantum noktalardan yararlanılması üzerine çalışmalar yapıyor. Kimyacılar ise tepkimelerde katalizör olarak kuantum noktalar kullanıyor.

Kuantum noktalar gösterdikleri özelliklerden dolayı sun atomlar olarak adlandırılıyor. Kuantum noktaların keşfinden sonra periyodik tabloya bir boyut daha eklendiği söylenir. Kuantum noktalardan önce bir elementin özelliklerini kabaca tahmin etmek için elementin atomlarının elektron yapısını bilmek yeterliydi. Kuantum noktalardan sonra ise kristal boyutu da önem kazandı. ■

Kaynak

<https://www.nobelprize.org/uploads/2023/10/popular-chemistryprize2023.pdf>