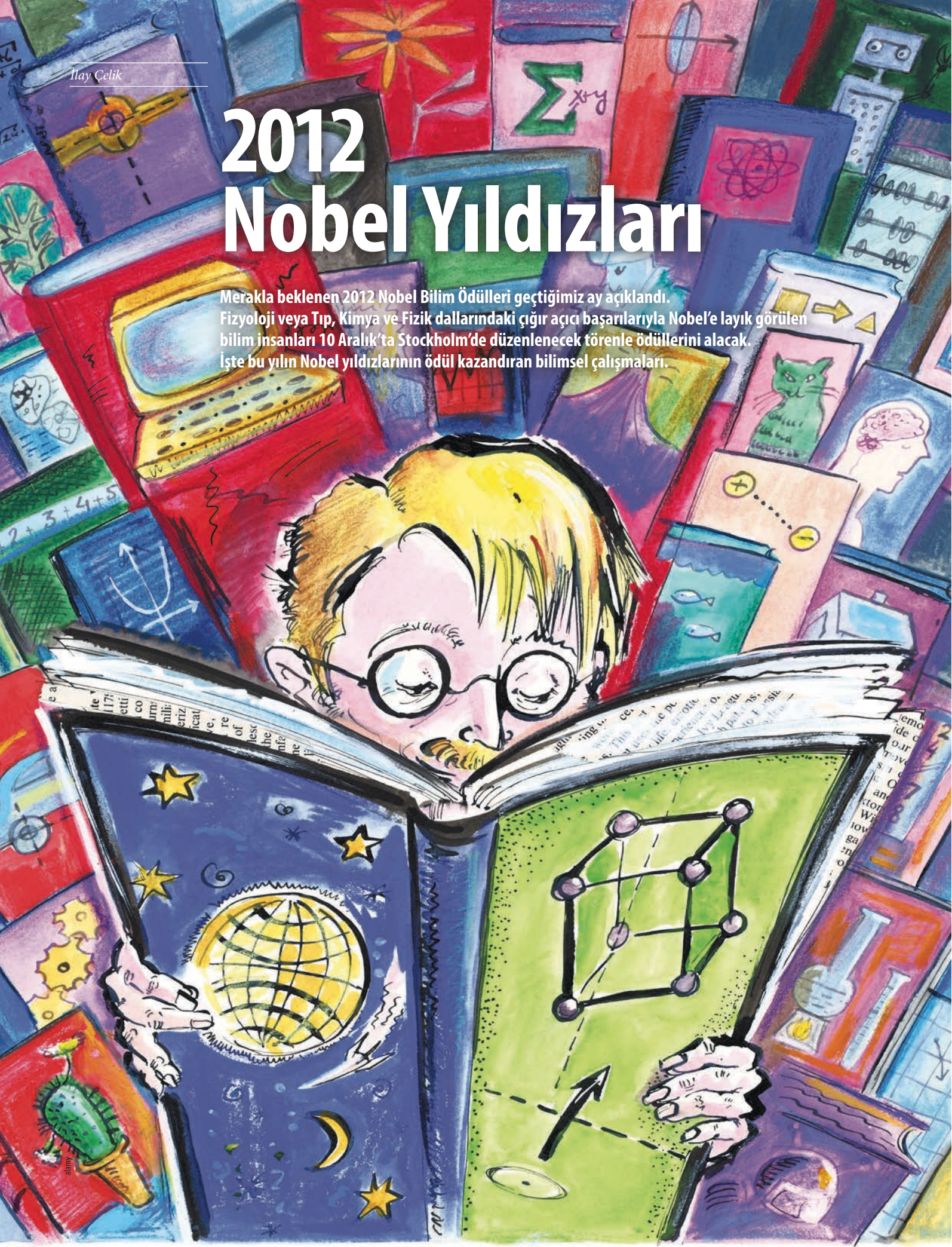


2012 Nobel Yıldızları

Merakla beklenen 2012 Nobel Bilim Ödülleri geçtiğimiz ay açıklandı. Fizyoloji veya Tıp, Kimya ve Fizik dallarındaki çığır açıcı başarılarıyla Nobel'e layık görülen bilim insanları 10 Aralık'ta Stockholm'de düzenlenecek törenle ödülleri alacak. İşte bu yılın Nobel yıldızlarının ödül kazandıran bilimsel çalışmaları.



Fizyoloji veya Tıp Nobel

Fizyoloji veya Tıp alanındaki Nobel Ödülü bu yıl erişkin, başkalaşmış haldeki hücrelerin pluripotent kök hücre durumuna dönecek biçimde yeniden programlanabildiğini keşfetmelerinden dolayı Dr. John B. Gurdon ile Dr. Shinya Yamanaka'ya verilecek. Söz konusu keşif, hücresel başkalaşım ve hücrenin başkalaşmış durumunun esnekliğiyle ilgili anlayışımızda bir paradigma kayması yarattı.

Organizmanın normal gelişim sürecinde hücreler, yumurtanın ve erken embriyo hücrelerinin başkalaşmamış durumundan daha özelleşmiş bir duruma geçer. Erişkin organizmanın vücudundaki özelleşmiş işlevleri gerçekleştirmek için çeşitli başkalaşmış hücre tiplerine ihtiyaç duyulur. Döllenmiş yumurta ve zigotun erken dönemindeki hücreler totipotenttir, yani embriyodaki bütün hücre tiplerini, ayrıca plasenta gibi embriyo dışı dokuları oluşturabilirler. Gelişim ilerleyip blastosist evresine gelindiğinde hücreler birbirinden ayırt edilebilir hale gelmeye başlar: İç kısımdaki hücre topluluğu embriyoyu oluştururken çevredeki hücreler tropoplast hücre soyunu oluşturarak embriyoyu çevreleyen dokulara kaynaklık eder. İç kısımdaki hücreler pluripotenttir, yani her türlü vücut hücresini ve üreme hücrelerine (yumurta ve sperm) kaynaklık eden hücre soyunu oluşturma yeteneğine sahiptir.

Gelişim serüveni boyunca hücrelerin başkalaşma potansiyeli gitgide sınırlanır ve sonuç olarak hücreler pluripotent olarak kalmaz. Sınırlı ölçüde başkalaşma yeteneğine sahip kök hücreler, hücre yenilenmesini sağlamak amacıyla vücudun belirli yerlerinde, örneğin kemik iliğinde, bağırsakta ve deride bulunur. Ancak çoğu hücre tamamen başkalaşmış hücrelere dönüşmüş durumdadır. Başkalaşmış hücreler başka hücre tiplerine ve başkalaşmamış duruma dönmeyecek şekilde, kararlı bir yapıdadır. Bu yüzden de bilim dünyasında somatik hücrelerin başkalaşmış durumlarında kalıcı olarak kilitlendiği ve başkalaşmamış duruma dönmesinin imkânsız olduğu görüşü hâkimdi.

Bu yaygın görüşe rağmen bazı araştırmacılar probleme yönelik deneysel yaklaşımlar geliştirdi. Ancak bu çalışmalarda aksi yönde bir bulgu elde edilemediğinden hücrelerin başkalaşmış duruma geri dönüşsüz bir biçimde geçtiği sonucuna varıldı. Bu konudaki dogmaların yıkılması John B. Gurdon'un sonuçlarını 1962'de yayımlayacağı çığır açıcı çalışmasıyla gerçekleşecekti.

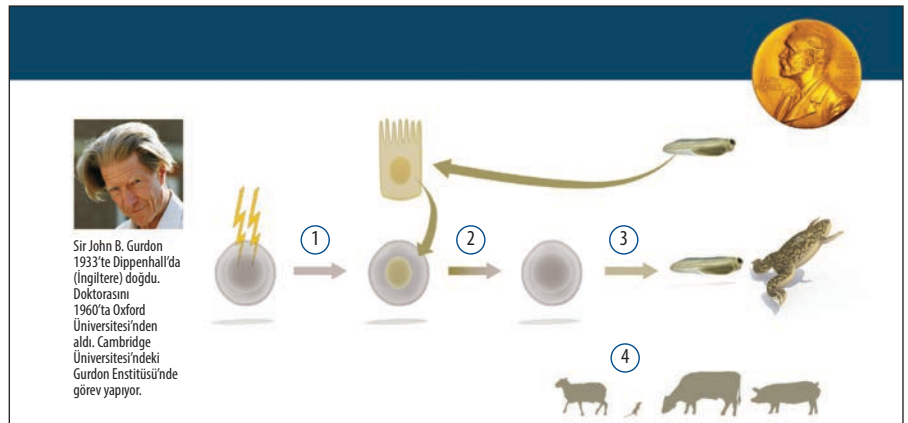
Embriyoloji eğitimi alan John B. Gurdon bu yıl kendisine Nobel Ödülü kazandıran meşhur çalışmasında *Xenopus laevis* adlı bir çiftyaşamlı üzerinde deneyler yaptı. Gurdon, morötesi ışımaya çekirdeksiz hale getirdiği yumurta hücrelerine başkalaşmış iribaşa (çiftyaşamlının yavru hali) ait bağırsak epitel hücrelerinden aldığı çekirdekleri aktardığında, az sayıda iribaş oluşturmaya başardı. Gurdon ayrıca çekirdeğin bu şekilde yeniden programlanmasının peş peşe aktarmalar yapıldığında daha etkin biçimde gerçekleştiğini de gösterdi. Bu stratejiyle bağırsak epitel hücre çekirdeklerinin büyük bir kısmının yeniden programlanabildiğini kanıtladı. Gurdon böylece başkalaşmış somatik hücrelerin çekirdeklerinin pluripotent hale dönme potansiyeline sahip olduğu sonucuna vardı.

Gurdon'un keşfi, başkalaşmış bir somatik hücrenin çekirdeğinin bir yumurta hücresinin sitoplazmik sıvısı içine yerleştirildiğinde, tüm somatik hücre tiplerini ve dokuları oluşturma kapasitesine sahip olduğunu göstererek bir paradigma kayması yarattı. Gurdon'un keşfi, somatik hücre çekirdeği aktarma yöntemi-

nin (SCNT) kullanıldığı, hücrede yeniden programlanmayı ve hücrelerin özelleşirken nasıl değiştiğini anlamayı amaçlayan yeni bir araştırma alanını doğurdu. Yöntemin türevleri daha sonra ilk kopya koyun Dolly de dâhil olmak üzere çeşitli memelilerin kopyalanmasında kullanıldı.

Gurdon, başkalaşmış bir hücrenin çekirdeğinin başkalaşmamış duruma dönebilme kapasitesine sahip olduğunu gösterdi, ancak başkalaşmış bir hücreyi bütünüyle başkalaşmamış duruma çevirmenin mümkün olup olmadığı sorusu yanıtızsız kaldı. Pek çok araştırmacı bunun imkânsız olduğunu ya da en azından çok karmaşık düzenlemeler gerektireceği görüşündeydi. Shinya Yamanaka hücrenin pluripotent duruma dönmek üzere yeniden programlanması problemini ele almaya karar verdi.

Yamanaka'nın laboratuvarı embriyo kök hücrelerinin pluripotent halinin muhafaza edilmesinde etkili olan etmenlere odaklandı. Daha sonra Yamanaka somatik hücrelerde pluripotent durumu yaratmanın yollarını aramaya başladı. Yamanaka, kendi çalışmalarından ve başka araştırmalardan, pluripotent durumun muhafaza edilmesinde etkili olduğu bilinen ya da sanılan bir dizi transkripsiyon etmeninin, embriyo kök hücrelerinde ifade edildiğini biliyordu. (DNA molekülü üzerindeki genetik bilgi önce transkripsiyonla mRNA'ya aktarılıyor, mRNA'larla taşınan genetik bilgi yapıya ve işleve özel proteinlerin sentezlenmesinde kullanılıyor; bu sürece gen ifadesi deniyor ve gen eğer ifade edilmezse etkisini göstermemiş oluyor.



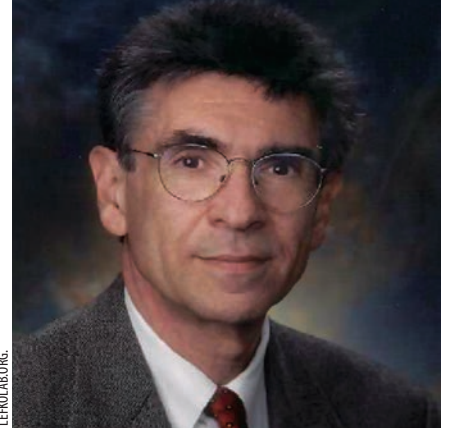
John B. Gurdon bir kurbağa yumurta hücresini çekirdeksiz hale getirdi (1) ve hücreye iribaştan alınan özelleşmiş bir hücrenin çekirdeğini yerleştirdi (2). Değiştirilen yumurta hücresi gelişerek normal bir iribaş oluşturdu (3). Çekirdek aktarma yöntemi daha sonra başka deneylerde memelileri kopyalamak için kullanıldı (4).

Transkripsiyonu tetikleyen özel proteinlere ise transkripsiyon etmeni deniyor.) Üstelik embriyo kök hücreleri somatik hücrelerle yapay olarak birleştirildiğinde somatik hücrelerde pluripotent durumun yaratılabildiği de biliniyordu. Bu bilgilere dayanarak Yamanaka, somatik hücrelerde pluripotent durumu oluşturmada etkili olduğu düşünülen, embriyo kök hücrelerine ait 24 aday transkripsiyon etmeni seçti.

Yamanaka çarpıcı derecede cesur bir deneyle bu etmenleri kodlayan 24 genin hepsini bir seferde deri fibroblast hücrelerine verdi. Hücrelerin birkaçı gerçekten de embriyo kök hücrelerine dikkate değer ölçüde benzerlik gösteren koloniler oluşturdu. Daha sonra bu kolonilerin oluşumunu tetikleyen genlerin sayısını birer birer azaltarak fare embriyo fibroblastlarını pluripotent kök hücrelere dönüştürmek için yeterli olan 4 transkripsiyon etmenini belirledi. Yamanaka, uyarılmış pluripotent kök hücre (iPS) olarak adlandırdığı bu hücreleri oluşturduğu 2006'dan bir yıl sonra da, James Thompson adlı bir araştırmacıyla paralel olarak ilk insan iPS hücrelerini oluşturdu.

Yamanaka'nın iPS hücrelerini keşfi, bütün haldeki başkalaşmış bir somatik hücrenin pluripotent hale gelecek biçimde yeniden programlanabileceğini gösterdiği için çok temel bir keşif olarak kabul ediliyor. Yamanaka'nın keşfi yepyeni bir araştırma alanı açtı ve çarpıcı derecede basit olan iPS teknolojisi günümüzde tüm dünyada çok sayıda laboratuvarında kullanılıyor. iPS teknolojisinde sağlanan önemli gelişmeler de bu teknolojiyi daha etkin ve faydalı hale getirdi.

Yamanaka'nın keşfi hücreleri pluripotent duruma getirmeden başkalaştırmaya (trans-başkalaşma) yönelik araştırmalar için de esin kaynağı oldu. Yamanaka'nın tek bir etmen yerine sistematik olarak küçük bir etmen kümesi belirleme yaklaşımı, son zamanlarda transkripsiyon etmenlerinin çeşitli kombinasyonları kullanılarak trans-başkalaşma deneyleri yapılmasına esin verdi. Örneğin pankreasteki ekzokrin hücreleri (dış salgı bezi hücreleri) üç transkripsiyon etmeninin verilmesiyle endokrin hücrelerine (iç salgı bezi hücreleri) dönüşebiliyor.



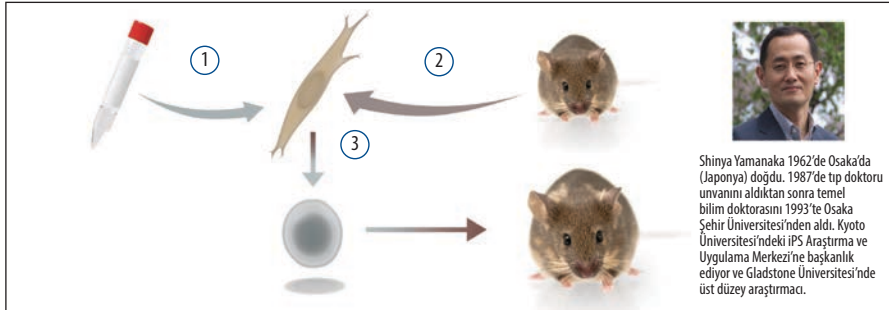
LEFKOWITZ.ORG

ABD vatandaşı Robert J. Lefkowitz 1943'te New York'ta doğdu. Tıp doktorasını 1966'da Columbia Üniversitesi'nden aldı. Howard Hughes Tıp Enstitüsü'nde araştırmacı ve Kuzey Carolina Durham'daki Duke Üniversitesi Tıp Merkezi'nde James B. Duke profesörü.

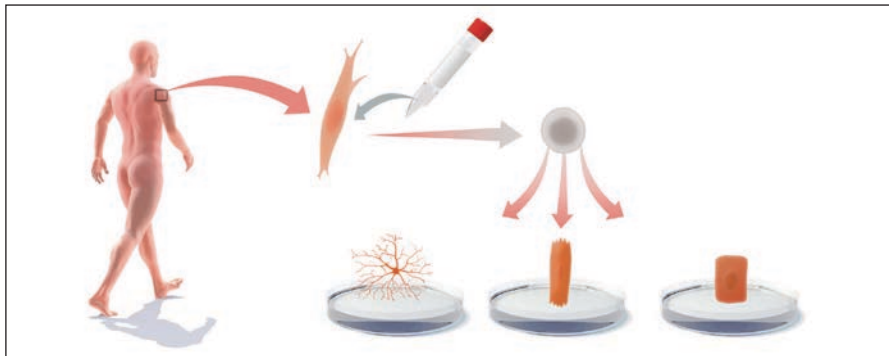


Stanford University

ABD vatandaşı Brian K. Kobilka Minesota'da Little Falls'ta doğdu. Tıp doktorasını 1981'de Yale Üniversitesi Tıp Okulu'ndan aldı. Stanford Üniversitesi Tıp Okulu'nda tıp profesörü ve moleküler ve hücre biyoloji profesörü olarak görev yapıyor.



Shinya Yamanaka kök hücrenin işlev görmesinde önemli olan genler üzerine çalıştı. Bu genlerin dört tanesini (1) deriden alınan hücrelere aktardığında (2) hücreler yeniden programlanıp erişkin bir faredeki bütün hücre tiplerine dönüşebilen pluripotent kök hücrelere dönüştü (3). Yamanaka bu hücreleri uyarılmış pluripotent kök hücreler (iPS) olarak adlandırdı.



iPS hücreleri artık çeşitli hastalar da dâhil olmak üzere insanlardan da elde edilebiliyor. iPS hücrelerinden sinir hücresi, kalp ve karaciğer hücreleri de dâhil erişkin hücreler elde edilebiliyor, bu da bilim insanlarına hastalık mekanizmalarını yeni yollarla inceleme imkânı veriyor.

iPS hücreleri de dâhil kök hücreler Parkinson ya da tip 1 diyabet gibi dejeneratif hastalıklarda, kaybedilen ya da hasarlı hücrelerin yenilenmesi için kullanılma potansiyeli taşıyor. Ancak henüz aşılamayan bazı engellerden dolayı pluripotent kök hücrelerin ve iPS'lerin kök hücre tedavisinde kullanılması henüz güvenli değil.

iPS'lerin bir başka kullanım alanı da, genetik ya da başka türlü hastalığı olan hastalardan iPS hücreleri elde edilip hastalığın sürecini daha iyi anlamak için bu hücrelerin başkalaşımının laboratuvar ortamında incelendiği çalışmalar. iPS hücreleri ayrıca üzerlerinde toksikoloji testleri ya da ilaç geliştirme çalışmaları yapılabilecek platformlar üretmede de kullanılıyor.

Kimya Nobelî

İnsan vücudunda on binlerce hücre etkileşim halindedir. Çoğu hücre belirgin rollere sahiptir. Bazıları yağ depolar, bazıları görsel imgeleri kaydeder, bazıları hormon üretir, bazılarıysa kas dokusunu oluşturur. Vücudumuzun işlev görebilmesi için hücrelerimizin uyum içinde çalışması, çevrelerini algılaması ve etraflarında neler olduğunu bilmesi gerekir. Bu yüzden de algılayıcılara ihtiyaçları vardır.

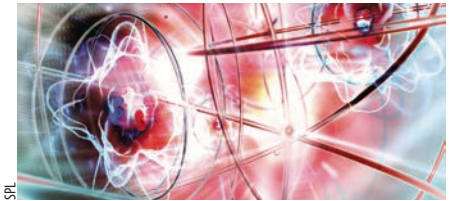
Hücre yüzeyindeki algılayıcılar almaç olarak adlandırılır. Robert J. Lefkowitz ve Brian K. Kobilka, G-proteinine

bağlı almaçlar (GPCR) olarak adlandırılan bir almaç ailesinin nasıl çalıştığını ortaya çıkardıkları için 2012 Nobel Kimya Ödülü'ne layık görüldüler. Adrenaline, dopamine, serotonine, ışığa, tada ve kokuya yönelik almaçlar bu ailenin üyeleri arasında. Fizyolojik süreçlerin çoğu GPCR'lere dayanıyor. İlaçların neredeyse yarısı bu almaçlar aracılığıyla işlev görüyor; beta bloklayıcılar, antihistaminler ve çeşitli psikiyatrik ilaçlar bunlardan bazıları.

19. yüzyılın sonunda adrenalinin vücut üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmacılar, hücrelerin çevrelerindeki kim-

yasal maddeleri -hormonları, zehirleri ve ilaçları- bir şekilde algılamasını sağlayan almaçlara sahip olması gerektiği sonucuna vardı. Ancak bu almaçları bulmayı başaramadılar, dolayısıyla almaçlar bir sır olarak kalmaya devam etti.

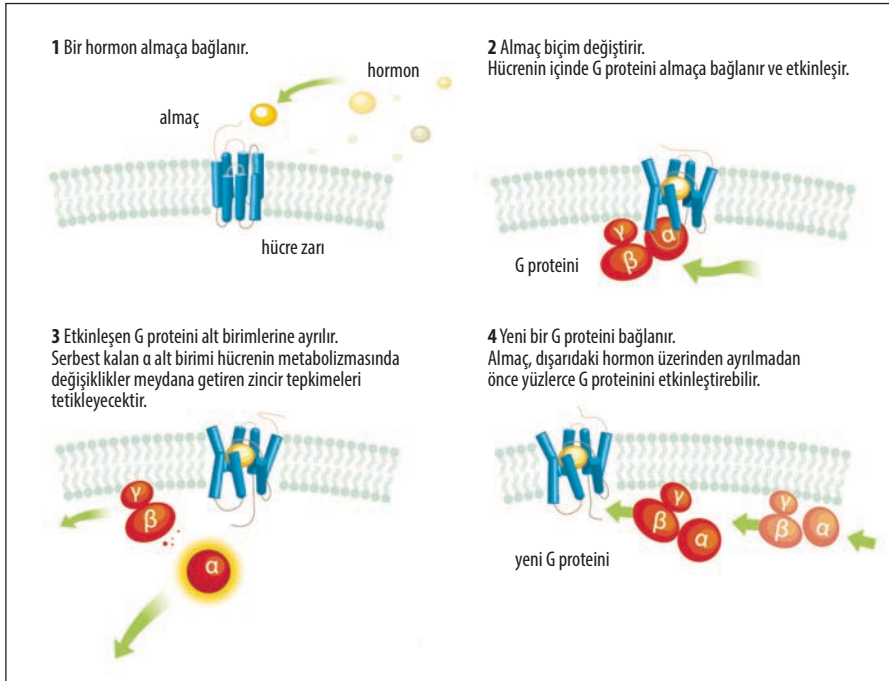
1960'larda kardiyolog olmayı planlar-ken askerlik görevi nedeniyle ABD Ulusal Sağlık Enstitüsü'ndeki bir araştırmada yer alan Robert Lefkowitz'den çalıştığı laboratuvarında almaçları bulma problemiyle uğraşması istendi. Lefkowitz'in danışmanının hali hazırda bir planı vardı. Bir hormona radyoaktif iyot ilişirmeyi önerdi. Böylece hormon hücre yüzeyine bağlandığında iyottan gelen radyasyon almaçın takip edilebilmesini sağlayacaktı. Daha sonra Lefkowitz'in hormonun hücre dışına bağlanmasının hücre içinde gerçekleşen bir süreci tetiklediğini göstermesi gerekecekti. Böylece biyolojik olarak işlevsel bir almaç bulunduğu konusunda hiçbir kuşku kalmayacaktı. Lefkowitz 1970 yılında iki dergide, (*Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS) ve *Science*) etkin haldeki bir almaç keşfettiğini açıkladığı birer makale yayımladı.



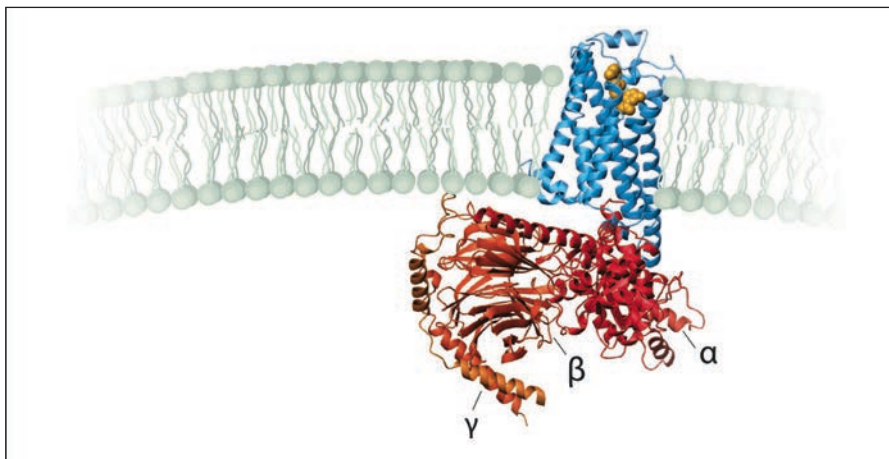
SPL

Daha sonra Kuzey Kaliforniya'daki Duke Üniversitesi'nde çalışmaya başlayan Lefkowitz adrenaline ve noradrenaline yönelik almaçlar olan adrenerjik almaçlara odaklandı. Lefkowitz'in araştırma ekibi radyoaktif olarak işaretlenmiş maddeler kullanarak bu almaçların nasıl çalıştığını araştırdı. Sonunda da bir dizi almaç biyolojik dokudan çıkarmayı başardılar.

Öte yandan hücrenin içinde neler olduğuna dair bilgi birikimi artmaktaydı. G proteinleri adı verilen, almaçtan gelen bir uyarıyla etkinleşen proteinler keşfedildi. G proteinleri etkinleştikten sonra hücre metabolizmasını değiştiren bir dizi tepkimeyi tetikler. 1980'lerin başlarında araştırmacılar sinyallerin hücre dışından hücre içine nasıl aktarıldığını anlamaya başladı.



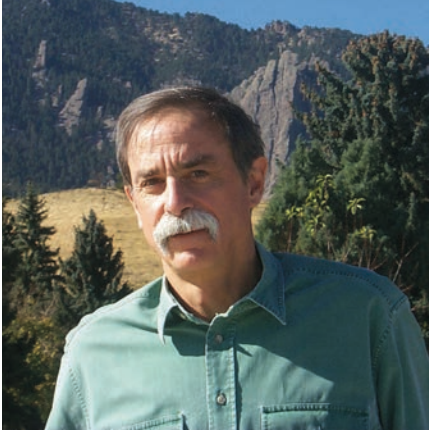
Bir hormon veya kokularla ya da tatlarla ilgili bir molekül bir almaça bağlanınca hücre içinde zincir şeklinde tepkimeler tetikleniyor.



Kobilka'nın elde ettiği, etkinleşmiş B-adrenerjik almaçının kristal yapısı (mavi). Bir hormon (turuncu) dışarıdan almaça bağlanıyor, iç kısımda da almaça G proteini bağlanıyor.



Fransız vatandaşı Serge Haroche, 1944'te Kazablanka'da (Fas) doğdu. Doktorasını 1971'de Paris'teki Pierre ve Marie Curie Üniversitesi'nden aldı. Paris'te Fransız Koleji'nde ve Yüksek Öğrenim Okulu'nda profesörlük yapıyor.



ABD vatandaşı David J. Wineland, Milwaukee'de (Wisconsin) doğdu. Doktorasını 1970'te Harvard Üniversitesi'nden aldı. ABD Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü'nde grup lideri ve Colorado Üniversitesi'nde öğretim üyesi.

1980'lerde Lefkowitz ve ekibi beta almacını (bir adrenalin almacı) kodlayan geni bulmaya karar verdi. Bu karar Lefkowitz'in bu yıl Nobel Ödülü almasında önemli rol oynayacaktı. Lefkowitz o sıralarda Brian Kobilka adlı bir araştırmacıyı işe almıştı. Kobilka genin peşine düştü. 1980'lerde devasa genom içinde belirli bir geni bulmaya çalışmak bir bakıma samanlıkta iğne aramak gibiydi, bu yüzden proje yavaş ilerliyordu. Ancak Kobilka geni izole etmek için dâhiyane bir fikir buldu. Araştırmacılar genin kodunu incelemeye başladı. Almacın uzun ve hidrofobik (suyla etkileşimi düşük) yedi sarmal şeritten oluştuğu ortaya çıktı. Bu da araştırmacılara almacın hücre zarı içinde yedi defa kıvrıldığını düşündürdü.

Yedi sayısı Lefkowitz'e bir şey çağırıyordu. Vücudun başka bir yerinde bulunan bir almaç da yedi şerite ve aynı sarmal yapıya sahipti: Gözün retinasındaki rodopsin almacı. Böylece bir düşünce belirdi: Tamamen farklı işlevleri olsa da bu almaçlar birbirleriyle ilişkili olabilir miydi?

Lefkowitz hem adrenerjik almaçların hem de rodopsinin hücre içinde G proteinleriyle etkileştiğini biliyordu. Ayrıca G proteinleriyle etkileşen 30 protein daha olduğundan da haberdardı. Birbirine benzeyen ve aynı şekilde işlev gören bir almaçlar ailesi olması gerektiği sonucuna vardı.

Bu çığır açıcı keşfin ardından bulmacanın parçaları teker teker yerine oturdu. Bilim insanları bugün GPCR'ler, bunların nasıl çalıştığı ve moleküler düzeyde nasıl düzenlendiğine ilişkin ayrıntılı bilgiye sahip. Lefkowitz ve Kobilka bu bilimsel yolculuğa öncülük etti ve geçen yıl yaptıkları keşifle şimdiye kadarki başarılarını taçlandırıldılar. X-ışını kristalleştirme yoluyla beta almacının moleküler yapısını ortaya çıkardılar. Bu, her ne kadar çok sayıda protein için rutin olarak kullanılan bir yöntem olsa da, GPCR'lere uygulanması çeşitli teknik sebeplerle çok zordu. Ancak azmin, kararlılığın, yaratıcılığın ve biraz da moleküler biyoloji tek-

niklerinin sayesinde Kobilka ve ekibinin 20 yılı aşkın çabası sonuç verdi. Almacın tam hücre dışındaki hormondan gelen sinyali hücre içindeki G proteinine iletikten görüntüsünü elde etmeyi başardılar.

İnsan genomu haritalama çalışmaları, GPCR'leri kodlayan yaklaşık bin gen ortaya çıkardı. Bunların yaklaşık yarısı koku algısında ve görme sisteminin parçası olarak yer alıyor. Üçte biri dopamin, serotonin, prostaglandin, glukagon ve histamin gibi hormonlara ve sinyal işlevi gören maddelere yönelik almaçlar. Bazı almaçlar dilimizde yer alıyor ve tat alma duyumuzu oluşturuyor, bazıları gözüme vuran ışığı algılıyor. Yüzden fazla almaçsa hâlâ işlevleri anlaşılmamış biçimde bilim insanlarının gündemini meşgul ediyor. Almaçlar üzerine Lefkowitz ve Kobilka öncülüğünde yapılan çalışmalar, bazı almaçların sadece G proteinleriyle değil başka bazı proteinlerle de etkileştiğini ortaya koydu.

Almaçların sayısı ve esnekliği, hücrelerin, yaşamın gerektirdiği biçimde "ince ayar"la düzenlenebilmesini sağlıyor. Yaşamımızı tehdit edici bir durumda alarm durumuna geçmemizi, güzel yiyeceklerin tadını çıkarmamızı ya da çevremizde olup biteni görebilmemizi hep hücrelerimizdeki almaçlara borçluyuz.



Fizik Nobeli

Bu yılın Nobel Fizik Ödülü'nü kazanan Serge Haroche ve David J. Wineland birbirlerinden bağımsız olarak, tek tek parçacıkları kuantum-mekanik doğalarını koruyarak ölçmeye ve yönlendirmeye yönelik çığır açıcı yöntemler buldular ve geliştirdiler.

Haroche ve Wineland, kuantum fiziğiyle deneyler yapma konusunda yeni bir devir başlattı. Araştırmacılar, bir kuantum sistemini yok etmeden gözlemleyebildiklerini gösterdiler. Dâhiyane laboratuvar yöntemleriyle çok kırılgan olan kuantum durumunu ölçmeyi ve kontrol etmeyi başardılar. Bu yöntemler, kuantum fiziğine dayalı yeni süperbilgisayarların yapımına yönelik ilk adımları oluşturdu. Ayrıca günümüzün sezyum saatlerine göre yüz kat fazla hassas ve geleceğin zaman standardını belirleme potansiyeli olan, yeni nesil hassas saatlerin oluşturulabilmesine ön ayak oldu.

Tek bir ışık ya da madde parçacığı için klasik fiziğin kuralları devre dışı kalır ve kuantum fiziği geçerli olur. Ancak tek parçacıkların onları çevreleyen ortamdan ayrılması kolay değildir ve dışarıdaki dünyayla etkileştikleri anda gizemli kuantum özelliklerini kaybederler. Dolayısıyla ku-

antum mekaniğinin öngördüğü, bize tuhaf gelen pek çok olgu doğrudan gözlenemez ve araştırmacılar sadece bu tuhaf olguları prensipte açıklayan "düşünce deneyleri" yaparlar.

Bu yılki Nobel Fizik Ödülü'nü kazanan iki araştırmacı, 1980'lerin ortalarından beri kayda değer ilerleme görülen, ışığın ve maddenin temel etkileşimini araştıran kuantum optiği alanında çalışıyor. Geliştirdikleri yöntemlerin pek çok ortak noktası var. David Winland elektrik yüklü atomları, yani iyonları hapsediyor ve onları ışıkla, yani fotonlarla kontrol edip ölçüyor. Serge Haroche ise tersi bir yaklaşım benimsiyor: Bir kapana atomlar göndererek fotonları, yani ışık parçacıklarını kontrol ediyor ve ölçüyor.

David Winland'ın Colorado Boulder'daki laboratuvarında elektrik yüklü atomlar, yani iyonlar, çevrelerinde elektrik alanları oluşturularak bir kapaanın içinde tutuluyor. Deneyler vakum ortamında ve aşırı düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilerek parçacıkların çevrelerindeki ısı ve radyasyondan izole edilmesi sağlanıyor.

Tek Tek İyonları Bir Kapanda Kontrol Etmek

Winland'ın çığır açıcı buluşunun sıralarından biri lazer ışınlarını kullanmadaki ve lazer atımları oluşturmadaki ustalık. Lazer, iyonu en düşük enerji durumuna sokarak iyonun kapaan içindeki ısıl hareketini baskılamak ve böylece kapanda tutulan iyonla kuantum olgularını incelemek için kullanılıyor. Dikkatli bir şekilde ayarlanmış bir lazer atımı, iyonu belirgin biçimde farklı iki durumun birlikte varlığı anlamına gelen süperpozisyon durumuna getirebiliyor. Örneğin iyon iki farklı enerji seviyesini işgal edecek biçimde hazırlanabiliyor. İyon en düşük enerji seviyesinden başlıyor, lazer atımı iyonu bir üst enerji seviyesine geçişte sadece yarı yolu alacak kadar uyarıyor, böylece iyon iki seviye arasında, enerji durumlarının bir süperpozisyonunda (sonunda her bir enerji seviyesinde kalma ihtimali de eşit olacak biçimde) kalıyor. Bu şekilde iyonun enerji seviyelerinin kuantum süperpozisyonu incelenebiliyor.

Tek Tek Fotonları Bir Kapanda Kontrol Etmek

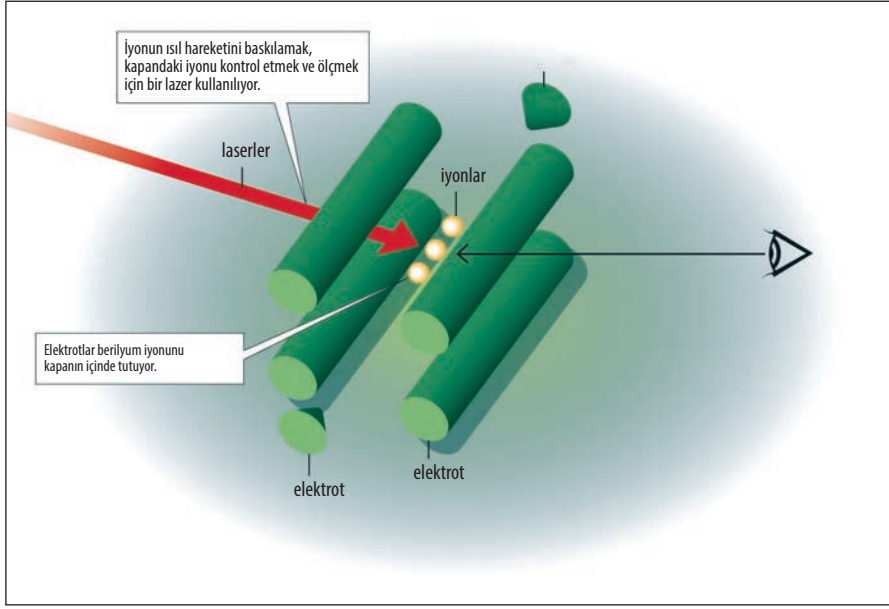
Serge Haroche ve araştırma ekibi kuantum dünyasının gizemlerini açığa çıkarmak için başka bir yöntem kullanıyor. Paris'teki laboratuvarında mikrodalga fotonları küçük bir oyuk içinde, aralarında yaklaşık üç santimetre mesafe olan iki ayna arasında ileri geri yansıyor. Aynalar süperiletken malzemeden yapıyor ve mutlak sıfırın hemen üzerinde bir sıcaklığa kadar soğutuluyor. Bu süperiletken aynalar dünyadaki en parlak aynalar. O kadar yansıtıcılar ki tek bir foton oyuğun içinde neredeyse saniyenin onda biri kadarlık bir süreye boyunca kaybolmadan ya da emilmeden ileri geri yansıyabiliyor. Rekor uzunluktaki bu süre, fotonun 40.000 km yani Dünya çevresinde bir tur atacak kadar yol alması anlamına geliyor.

Uzun ömrü sırasında kapandaki fotonla pek çok kuantum uygulaması yapılabiliyor. Haroche, oyuk içinde fotonu hem kontrol etmek hem de ölçmek için Rydberg atomları (İsveçli fizikçi Johannes Rydberg'e atfen) olarak anılan özel olarak hazırlanan atomlar kullanıyor. Bir Rydberg atomu yaklaşık 125 nanometre çapında, dolayısıyla tipik atomlardan kabaca 1000 kat daha büyük oluyor. Halka biçimli bu devasa Rydberg atomları, dikkatle belirlenmiş bir hızda tek tek oyuk içine gönderiliyor, böylece mikrodalga fotonuyla etkileşimi iyi bir şekilde kontrol edilerek gerçekleşiyor.

Rydberg atomu mikrodalga fotonunu geride bırakarak oyuktan geçip çıkıyor. Ancak foton ile atom arasındaki etkileşim atomun kuantum durumundaki fazında bir değişiklik yaratıyor: Atomun kuantum durumu bir dalga gibi düşünülürse, dalganın tepeleri ve çukurları kaymış oluyor. Bu faz kayması atom oyuktan çıktığında ölçülebiliyor, böylece oyuğun içinde bir fotonun varlığı ya da yokluğu ortaya çıkarılabiliyor. Foton yoksa faz kayması olmuyor. Böylece Haroche tek bir fotonu yok etmeden ölçmeyi başarıyor.

Haroche ve ekibi benzer bir yöntemle oyuğun içindeki fotonları (tıpkı bir çocuğun kavanozundaki bilyeleri sayabildiği





David Wineland'ın Colorado Boulder'daki laboratuvarında elektrik yüklü atomlar, yani iyonlar, çevrelerinde elektrik alanları oluşturularak bir kapamın içinde tutuluyor. Wineland'ın çığır açıcı buluşunun sırlarından biri lazer ışınlarını kullanmadaki ve lazer atımları oluşturmadaki ustalık. Lazer, iyonu en düşük enerji durumuna sokarak kuantum olgularının iyonla incelenilmesini sağlıyor.

gibi) saymayı da başardı. Bu, kolay görünse de sıra dışı bir beceri gerektiriyor çünkü bilyelerden farklı olarak fotonlar dış dünyayla temas ettikleri anda yok oluyor. Haroche ve çalışma arkadaşları bu foton sayma yöntemine dayanarak, tek tek kuantum durumlarının evrimini aşama aşama ve gerçek zamanlı olarak izlemek üzere yöntemler geliştirdi.

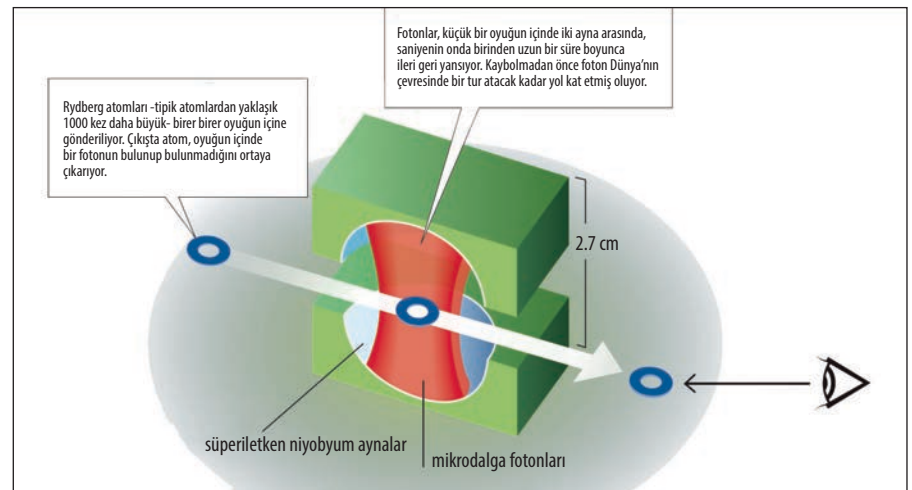
Kuantum Mekaniğinin Paradoksları

Kuantum mekaniği, olayların makroskopik yani klasik dünyadaki fiziksel olgularla ilgili deneyimlerimize ve beklentilerimize aykırı düşecek biçimde gerçekleştiği, gözle görülemeyen, mikroskopik bir dünyayı betimler. Kuantum dünyasında fiziğin içsel bir belirsizliği ya da rastgeleliği vardır. Aykırı davranışların örneklerinden biri bir kuantum parçacığının aynı anda birkaç farklı durumda olabildiği süperpozisyonudur. Normalde bir bilyenin aynı anda hem "orada" hem "burada" olabildiğini düşünemeyiz, ama eğer bu bilye bir kuantum bilyeyse bu mümkün. Bilyenin tam olarak nerede olduğunu ölçecek olsak, süperpozisyon durumu bilyenin tam olarak hangi olasılıkla burada ya da orada olacağını gösterir.

Dünyamızın bu tuhaf yönlerinin neden asla farkına varmıyoruz? Neden günlük yaşantımızda kuantum bilyenin bir süperpozisyonunu gözlemleyemiyoruz? Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger bu soruyla boğuşmuştu. Kuantum kuramının diğer öncülleri gibi o da kuramın sonuçlarını anlamlandırmaya çalışmıştı. 1952'de şöyle demişti "Hiçbir zaman tek bir elektron, atom ya da (küçük) molekülle deney yapmayız. Düşünce deneylerinde bazen yaptığımızı düşünüyoruz, bu da günlük sonuçlar doğuruyor".

Schrödinger, kuantum fiziğinin mikro-dünyası ile günlük makro-dünyamız arasında gidip gelmenin absürt sonuçlarını resmetmek için bir kediyle yapılan bir düşünce deneyi betimledi: Schrödinger'in kedisi bir kutunun içinde dış dünyadan tamamen izole edilmiş durumdadır. Kutuda bir de, yine kutudaki radyoaktif bir atom bozunduktan sonra serbest kalacak bir şişe öldürücü siyanür vardır. Radyoaktif bozunum kuantum mekaniğinin kurallarına göre gerçekleşir, buna göre radyoaktif madde hem bozunmuş olma hem de bozunmamış olma biçiminde bir süperpozisyon durumundadır. Dolayısıyla kedi de hem ölü hem de canlı olma biçiminde bir süperpozisyon durumundadır. Eğer kutunun içine göz atmaya kalkarsanız kediyi öldürme riski yaratırsınız, çünkü kuantum süperpozisyonu çevreyle etkileşime karşı o kadar hassastır ki kediyi gözlemlemek için en küçük bir girişim, "kedi-durumu"nun iki olasılıktan -ölü ya da diri- birine "çökmesine" yol açar. Schrödinger'e göre bu düşünce deneyi bizi absürt bir sonuca götürüyor; kendisinin kuantum karmaşasını büsbütün artırdığı için sonradan özür dilediği bile söyleniyor.

Bu yılın Fizik Nobel'i'ne hak kazanan her iki araştırmacı kuantum "kedi-durumu"nu dış dünyayla karşılaştığı sırada saptamayı başardı. Yaratıcı deneyler tasarladılar ve ölçme eyleminin nasıl ger-



Serge Haroche'nin Paris'teki laboratuvarında, mikrodalga fotonları, vakum altında ve mutlak sıfırın çok az üstünde bir sıcaklıkta, küçük bir oyunun içindeki iki ayna arasında ileri geri yansıyor. Aynalar o kadar yansıtıcı ki tek bir foton saniyenin onda birinden uzun bir süre boyunca kaybolmadan kalabiliyor, kaybolmadan ya da emilmeden ileri geri yansıyabiliyor. Uzun ömrü sırasında kapandaki bu fotonla, fotonu yok etmeden pek çok kuantum uygulaması yapılabiliyor.

çekten de kuantum durumunun çökmesine ve süperpozisyon karakterini kaybetmesine yol açtığını büyük bir ayrıntıyla göstermeyi başardılar. Haroche ve Wineland, Schrödinger'in kedisi yerine kuantum parçacıklarını kapana kısırtıp onları kedininki gibi süperpozisyon durumlarına sokuyor. Bu kuantum nesnelere bir kedi gibi makroskopik değil ama yine de kuantum standartlarına göre hayli büyük.

Haroche'nin deneyindeki oyukta mikrodalga fotonları aynı anda zıt fazlarla kedi benzeri durumlara sokuluyor, tıpkı iğnesi hem saat yönünde hem de saat yönünün tersine dönen bir kronometre gibi. Oyuğun içindeki mikrodalga alanı, Rydberg atomlarıyla algılanıyor. Bunun sonucu da dolaşıklık denen anlaşılması güç bir başka kuantum etkisi. Erwin Schrödinger tarafından da betimlenen dolaşıklık birbiriyle doğrudan teması olmayan, ama yine de birbirlerinin özelliklerini okuyabilen ve etkileyebilen iki ya da daha fazla kuantum parçacığı arasında olabiliyor. Mikrodalga alanı ve Rydberg atomları arasındaki dolaşıklık, Haroche'nin, oyuğun içinde "kedi benzeri" durumu aşama aşama, atom atom takip edip farklı durumların kuantum süperpozisyonundan klasik fiziğin iyi tanımlanmış bir durumuna geçmekteyken varlığını ve yok oluşunu belirlemesini sağladı.

Yeni Bir Bilgisayar Devriminin Eşiğinde

İyon kapanlarının pek çok bilim insanının rüyası olan uygulamalarından biri kuantum bilgisayarlar. Günümüz bilgisayarlarında en küçük bilgi birimi 1 ya da 0 değerini alan bittir. Bir kuantum bilgisayarında ise temel bilgi birimi olan kuantum bit ya da kübit, aynı anda hem 1 hem de 0 olabilir. İki kuantum biti aynı anda dört değer alabilir: 00, 01, 10 ve 11. Fazladan her kübit mümkün durumların sayısını iki katına çıkarır. n kuantum biti için 2^n mümkün durum vardır ve sadece 300 kübitlik bir bilgisayar 2^{300} durumu aynı anda tutabilir. Bu, evrendeki atomların sayısından bile fazladır.

Wineland'in ekibi iki kuantum biti kullanarak bir kuantum işlemini ilk gösteren ekip oldu. Birkaç bit ile başarıyla kontrol işlemleri yapıldığına göre, prensipte çok daha fazla kübitle böyle işlemler yapılamayacağını düşünmek için hiçbir sebep yok. Ancak böyle bir kuantum bilgisayarı yapmanın uygulamada çok büyük zorlukları var. Birbirine zıt iki gerekliliğin yerine getirilmesi gerekiyor: Kuantum özelliklerinin yok olmaması için kübitlerin çevrelerinden uygun biçimde izole edilmiş olması gerekiyor, ancak aynı zamanda hesaplamalarının sonuç-

larını iletebilmek için dış dünyayla iletişim halinde olmaları da gerekiyor. Belki de kuantum bilgisayarı bu yüzyıl içinde yapılabilir. Eğer öyle olursa bu, yaşamlarımızda klasik bilgisayarların geçen yüzyılda yaptıklarına benzer değişimler yaratacak.

Yeni Saatler

David Wineland ve araştırma ekibi, kapandaki iyonları günümüzün zaman ölçüm standardını oluşturan sezyum temelli atom saatlerinden yüz kat daha hassas olan bir saat oluşturmak için de kullandı. Sezyum saatler mikrodalga aralığında çalışırken Wineland'in iyon saatleri görünen ışığı kullanıyor, zaten adları da optik saat. Bir optik saat oyuktaki sadece bir ya da iki iyondan oluşabiliyor. İki iyon olduğunda iyonların biri saat olarak, diğeriye saati, durumunu çöktürmeden ya da bir "tık" kaçırmasında izin vermeden okumak için kullanılıyor. Optik saatlerin hassasiyeti 10^{17} 'de birden daha yüksek oluyor, bu da demek oluyor ki eğer biri 14 milyar yıl önce evrenin Büyük Patlama'yla başlangıcı sırasında zamanı ölçmeye başlasaydı optik saat sadece 5 saniye geri kalmış olacaktı.

Bu kadar hassas bir zaman ölçümü sayesinde, zamanın akışındaki değişimler, yerçekimindeki çok küçük farklılıklar ve uzay-zamanın dokusu gibi doğadaki çok gizemli ve bir o kadar da güzel bazı olguların gözlemlenebilmesi sağlandı. Einstein'ın görelilik kuramına göre zaman harekettenden ve yerçekiminden etkilenir. Hız ne kadar yüksek ve yerçekimi ne kadar kuvvetliyse zaman o kadar yavaş geçer. Bu etkilerin farkında olmayabiliriz, ama aslında bunlar günlük yaşamımızın bir parçası haline gelmiştir. GPS'le yön bulurken uydulardan gelen zaman sinyallerine dayanırız, bu uydularda rutin olarak kalibre edilen saatler vardır, çünkü yerçekimi yüzlerce kilometre yukarıda biraz daha düşüktür. Saatin hızı saniyede 10 metreden daha az bir değişiklik gösterdiğinde ya da yerçekimi sadece 30 santimetrelilik bir yükseklik farkından dolayı değiştiğinde zamanın geçişindeki farkı optik saatlerle ölçmek mümkün.



Schrödinger'in kedisi

Kaynaklar

- "The 2012 Nobel Prize in Physiology or Medicine - Advanced Information". Nobelprize.org. 16 Oct 2012 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2012/advanced.html
- "The Nobel Prize in Physics 2012 - Popular Information". Nobelprize.org. 16 Oct 2012 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2012/popular.html
- "The Nobel Prize in Chemistry 2012 - Popular Information". Nobelprize.org. 16 Oct 2012 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2012/popular.html