

Bilgisayar Dünyasında Senfonik Bir Ses

Kuantum Bilgisayar

Son elli yıl içerisinde her iki yılda bir bilgisayarların hızları ikiye katlanırken donanım parçaları yarı boyutlarına indi. Şimdiki devreler, insan saçının yüzde biri kalınlığında teller ve transistörler içeriyor. Bu hızlı geçiş sürecinin sonunda günümüz bilgisayarları, kaba öncüllerinden milyonlarca kez güçlü. Ancak, böylesi yeniliklerin ardı kesilmeye başladı. Entegre devre teknolojisi, sınırlarına dayanmış durumda.

ILERİ üretim teknikleri, var olanın yüzde biri küçüklükte parçalar sağlayabilir. Ancak bu ölçekte madde bağımsız atom yığınlarını çağrıştırdığından, entegre devreler çalışmakta zorlanıyor. On kat daha küçültülmüş ölçeklerde bu bağımsızlık durumu pekiştikinden küçük bir arıza felakete yol açabilir. Dolayısıyla, gelecekte bilgisayarlar küçülmeye devam edeceklerse, yeni teknolojilerin şimdiki yerini alması veya en azından onlara destek sağlaması gerekecek.

Bundan birkaç on yıl önce, IBM bünyesindeki araştırmacılar, bilgi işlem devreleri fiziğini inceleyerek, boyutları küçültmenin nereye varacağını sorgulamaya başladılar: Devre elemanları ne dereceye kadar küçülebilir? Hesaplamalar sırasında ne kadar enerji tüketmek gerekir?

Bilgisayarlar fiziksel ağırlar olduklarından

temel işlemleri de fizik kapsamında tanımlanır. Evrenin fiziksel gerçeği, bilgisayar devreleri küçüldükçe, tanımlarının kuantum mekaniği kapsamında yapılmasını gerektiriyor. 1980'lerin başlarında yapılan çalışmalardan da yola çıkarak bir bilgisayarın tümüyle kuantum mekaniği kalıplarında çalışabileceği gösterilmişti. Kısa süre sonra kuantum bilgisayarların modelleri kurgulanmıştı. Asıl merak konusu ise, kuantum bilgisayarların işlevleri hızlandırıp hızlandıramayacağı veya işlemleri yenilikçi yöntemlerle gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğiydi.

Son on yılın ortalarında çeşitli sebeplerle çalışmaların temposu düşmüştü. İlk olarak, tüm araştırmacılar konuyu kavramsal planda tartışmış, gerçek fiziksel sistemleri incelememişlerdi. Ayrıca, kuantum bilgisayarların hataya açık oldukları ve bu hataların düzeltilmesinin güç olacağı ortaya çıkmıştı. Bunlara ek olarak, kuantum bilgisayarların, diğer kuantum sistemlerini simüle etmek dışındaki problemleri klasik öncüllerinden daha hızlı çözüp çözemeyecekleri net değildi.

Geçtiğimiz üç yıl içinde tablo değişti. AT&T laboratuvarlarından bir araştırmacı kuantum bilgisayarların, diğer bilgisayarların yapamayacağı bir işi başarabileceğini, çok büyük sayıları çarpanlarına ayırabileceğini gösterdi. Günümüzün en hızlı bilgisayarı saniyede 170 milyar işlem yapıyor. Bu

hızı bile yeterli bulmayan araştırmacılar geçen yıl dünya üzerindeki 1 600 bilgisayarı bir ağ ile birbirine bağlayarak 129 haneli bir sayıyı çarpanlarına ayırmışlar. Bu işlem 8 ay sürmüş 250 haneli bir sayıyı çarpanlarına ayırmak klasik bilgisayarlarla asırlar sürebilir. Kuantum bilgisayarlar için ise, bu gibi işlemlerin birkaç saniye alacağı teorik olarak kanıtlandı.

Kuantum Mekaniği

Baştan kabullenmek gerekiyor ki, kuantum mekaniği hiç de kolay anlaşılır bir konu değil. Alanın açılmasında katkısı olan Danimarkalı bilim adamı Niels Bohr bile, "bir insan kuantum fiziğiyle uğraşırken başının hiç dönmediğini söylüyorsa bu, konuyu hiç anlamadığını gösterir," görüşünde. İşinize gelsin veya gelmesin, kuantum mekaniği akla uygun gelmeyen ama deneylerle defalarca kanıtlanmış pek çok etki öne sürer. Kuantum bilgisayarların tuhafliklarının üstesinden gelebilmek için bir tek gerçeği kabul etmek gerekiyor: parçacık-dalga ikiliği ...

Parçacık-dalga ikiliğine göre, katı olarak tanıdığımız basketbol topu, atom gibi şeyler bazı ortamlarda dalga gibi davranırken, dalga olarak tanımladığımız ışık ses gibi şeyler de bazen parçacık olarak karşımıza çıkar. Esas olarak, kuantum mekaniği hangi türden dalgaların hangi türden parçacıklarla ilişkili olduğunu inceler.

Parçacık-dalga ikiliği, atom gibi küçük sistemlerin, belli enerji durumlarında var

Hidrojen atomuna bit yazma işlemi. Elektron, iki düzey arasındaki enerji farkına denk bir lazer demetiyle uyarılarak temel düzeyinden bir üst düzeye sıçrıyor. Böylece, atoma '1' değeri atanmış oluyor.

olabileceklerini söyler. Atom, bir enerji düzeyinden diğerine geçerken, belli miktarda enerjiyi "foton", yani ışık biçiminde soğurur veya yayar. Bir diğer sonuç ise, kuantum mekanik dalgalarının su dalgaları gibi davrandıkları, örtüşebildikleri ve eklenibildikleridir. Tek başına ele alındığında bu dalgalar, parçacığın konumu hakkında kabaca fikir verirken, iki veya daha fazla dalga bir araya geldiğinde ise, parçacığın konumu belirsizleşir. Kuantumun tuhaf bir yasanına göre bir elektron aynı anda hem orada hem burada olabilir. Böyle bir elektronun yerini ancak, ona çarpıp dönen bir foton veya benzeri bir etkileşim sonucunda bilebiliriz. Örtüşük iki kuantum dalgası tek bir dalga gibi davranıyorsa, bu ikisini bağlı olarak tanımlarız. İki farklı enerji düzeyinin örtüşüm durumunda olduğu bir elektronun bağıllıktan kurtulması uzun sürebilir. Sözgelimi, bir fotonun elektron gibi küçük bir parçacığa çarparak konumunu ortaya koyuncaya kadar günler geçebilir. İlke olarak basketbol topları da aynı anda iki ayrı konumda bulunabilir. Ancak uygulamada bir fotonun basketbol topundan sekmesi sırasındaki zaman aralı-



Hidrojen atomundan bit okuma işlemi. Atoma, elektronu daha kararsız, bir üst düzeye sıçratan kadar enerjiye sahip bir lazer demeti gönderiliyor. Bu durumda, bir üst düzeye sıçrayan elektron, bir süre sonra foton yayarak eski yerine döner. Yayılan foton atomun bit değerinin okunmasını sağlar.

ğının göz veya bir aygıt tarafından algılanması belirgin bir gecikme olmaksızın gerçekleştiğinden, görece çok büyük olan basketbol topunun, konumunun belirsizliğinden söz edilemez. Yani, sadece küçük parçacıklar kuantumsal tuhaflıklar sergilerler.

Kuantum Bilgi

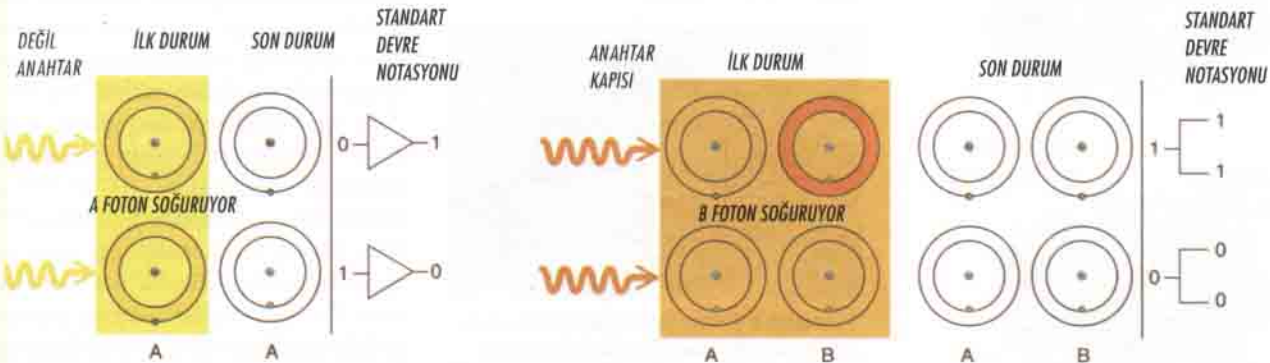
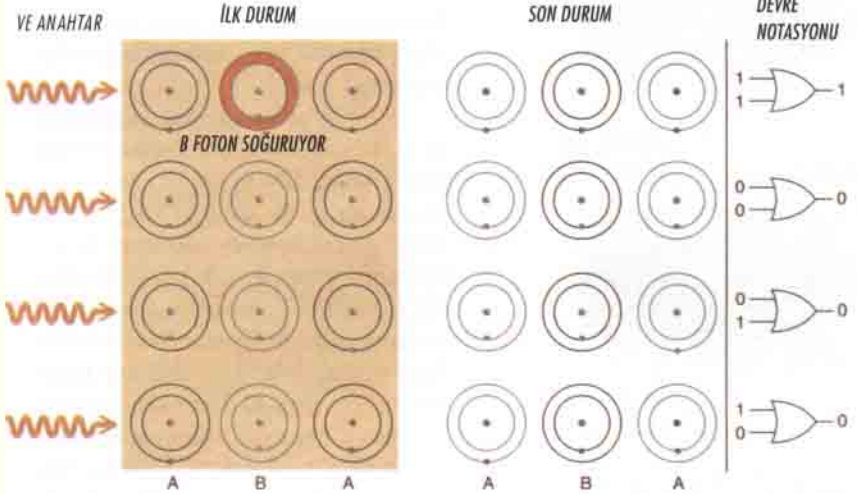
Kuantum mekaniğinde bilgi de atomik enerji düzeyleri gibi belirli nicelik ölçütlerine sahiptir. Bilginin kuantumu "bit"tir. Bir bilgi biti, basitçe iki alternatif arasındaki ayrım, yani 'hayır' veya 'evet', sıfır veya bir, 'yanlış' veya 'doğru'dur. Sayısal bilgisayarlarda bir kapasitörün yaprakları arasındaki voltaj, bir bilgi bitini ifade eder. Yüklü bir kapasitör 1, yüksüz bir kapasitör ise 0 olarak alınır.

Kuantum bilgisayar da bilginin aşına olduğumuz somutluğunu kuantum mekaniğinin tuhaf somutluğuyla eşleyerek çalışır.

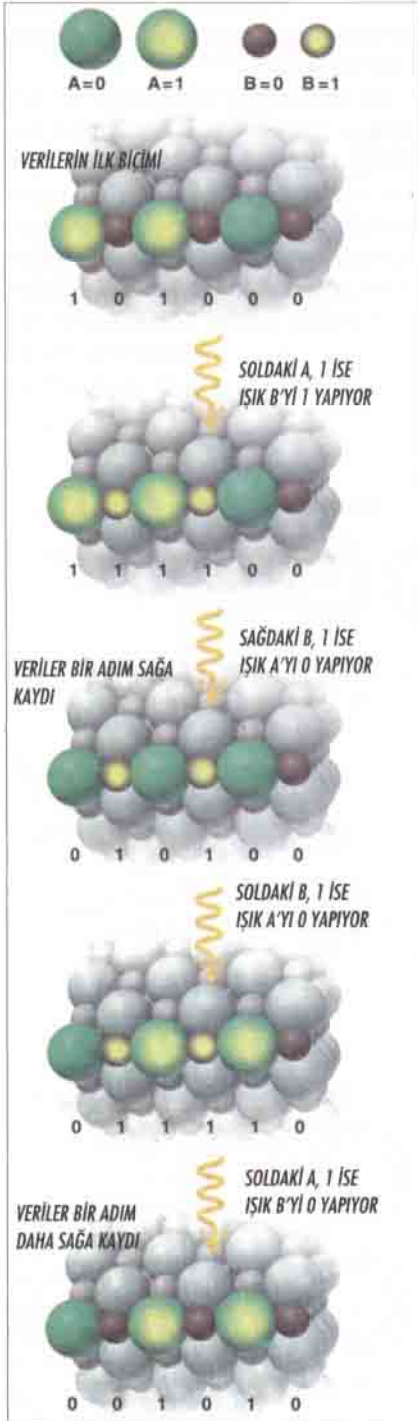
Bir dizi hidrojen atomu, bitleri bir dizi kapasitör gibi saklayabilir. Elektriksel bakımdan kararlı durumdaki bir atom "0"ı ifade ederken uyarılmış bir atom 1 kabul edilebilir. Böyle bir kuantum sisteminin bilgisayar olarak çalışabilmesi için, bitleri saklamaktan fazlasını becermesi gerekiyor. Kullanıcı sisteme bilgi yükleyip, bu bilgiyi basit mantık yöntemleriyle işlemleden geçirdikten sonra geri alabilmelidir.

Kuantum Mantık Anahtarları

Mantık anahtarları, bilgi bitleri üzerinde temel işlemlerin gerçekleştirildiği araçlardır. Kullanılan tüm işlemciler mantık anahtarlarından oluşturulmuştur. İrlandalı mantık araştırmacısı George Boole, 19. yüzyılda karmaşık mantıksal veya aritmetiksel işlemlerin "DEĞİL", "KOPYALA" ve "VE" temel işlemlerinin kombinasyonlarıyla gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Atomlar ve diğer kuantum sistemleri de bu işlemleri gerçekleştirebilirler. Transistör yerine atom, elektrik akımı yerine ışığın kullanıldığı bu anahtarların uygulama mantığı açısından alışıldık elektronik devrelerde görebileceklerimizden pek farkı yok.



Başka bir deyişle, kuantum sistemleri okuma, yazma ve aritmetik konusunda epeyce yetiye sahip olmalıdır. Bir kuantum sistemine bilgi kaydetmenin yolu ilk olarak, 1944 yılında Nobel fizik ödülü alan Isaac Rabi göstermiş. Hidrojen atomlarına uyarlanmış haliyle sistem şöyle işler: Kararlı durumda olup toplam E_0 miktarında enerji barındıran bir atomu ele alalım. Bu atoma 0 bitini yazmak için birşey yapmaya gerek yok. 1 yazmak için, atom bir üst enerji düzeyine E_1 'e uyarılır. Bunu sağlamak için, içerdiği fotonların enerjileri $E_1 - E_0$ kadar olan bir lazer duşu gerekir.



Eğer lazer demeti doğru yoğunlukta ve yeterli süre uygulanmışsa, atom, içerdiği bir elektron foton soğurduğu için bir üst enerji düzeyine geçer. Atom zaten uyarılmış durumdaysa, aynı şiddette bir uyarı atomun bir foton yayarak kararlı duruma dönmesine yol açar. Bilgi saklama yönteminde bu uyarı, atomun sakladığı biti her ne olursa olsun karşısına çevirmesini ifade eder.

Burada aşamalı olarak açıklanan şudur: Lazer ışını atomdaki elektronu bir üst enerji düzeyine bir çocuğu salıncakta sallayan bir yetişkin gibi çıkarır. Dalga her seferinde küçük bir itki sağlar. Elektronu da dalga olarak ele alalım. Gönderilen ışının dalgası ve elektronunki etkileşime girmiş farklı enerjili iki dalgadır. Elektronun gidış gelişleri bu süreç sonunda ışının enerji seviyesine ulaşırsa iki dalga örtüşür. Yani elektron bir üst enerji düzeyine çıkar. Eğer gönderilen fotonların frekansı yalnızca verdikleri itkiler elektronla senkronize gitmez ve hiçbir sonuca ulaşamaz.

Eğer doğru ışık, gerekli sürenin yarısı kadar uygulanırsa, elektron ne 1 ne de 0 durumuna geçer. Bu durumdaki bir kuantum biti veya kubit, 1 veya 0 konumlarından birini ifade eden klasik bitten ayrılır. Geleneksel bilgisayarlarda yarı yüklü bir kapasitör hatalara yol açarken, yarı kaydırılmış bir kubit yeni bir hesaplama yolunun önünü açar.

Kuantum sistemlerinden bit okumak da onları değiştirmeye benziyor. Atomu daha kararsız, daha da üst bir enerji düzeyine çıkaralım. Bu düzeyin adı E_2 olsun. Süreci gerçekleştirmek için E_1 ve E_2 'nin farkı kadar enerji taşıyan ışığa gereksinim var. Eğer atom E_1 konumundaysa E_2 konumuna çıkacak ama kısa süre sonra bir foton yayarak eski konumuna geri dönecektir. Eğer atom E_0 düzeyindeyse hiçbir şey olmaz. Eğer yarı uyarılmış durumda ise bir foton bırakarak "1" sinyalini vermesi olasılıkları eşittir.



Tuz kristalinin bir kuantum işlemci olarak kullanılması yöntemi. Böyle bir işlemci tüm kuantum sistemlerinin taklit edilerek incelenmelerine olanak sağlayabilir.

Kuantum Bilgisayar

Elektronik devreler tel, direnç, kapasitör gibi lineer öğeler ile diyor, transistör gibi lineer olmayan ve bitleri farklı biçimlerde ele alan öğelerden oluşur. Lineer parçalar girdi sinyallerini bağımsız olarak algılar. Lineer olmayanlar ise sinyalleri, içlerinden geçerken birbiriyle etkileşime sokar. Lineer olmayan transistörler içermeseydi, müzik setinizde çalan müziğin basıyla oynayamazdınız. Zira bu, kasetten gelen bilgiyle ayar düğmesindeki bilginin koordinasyonuyla gerçekleşiyor.

Devreler, birkaç lineer ve lineer olmayan görevi defalarca, yüksek hızda gerçekleştirerek çalışır. Bu görevlerden biri de "DEĞİL" anlamındaki mantıksal işlem: 1, 0'a dönüşür 0, 1'e. Bir diğer işlem, "KOPYALA", ikinci bir bitin değerini birincisiyle eşdeğer kılar. Bunların ikisi de lineerdir çünkü, tek bir girdi tek bir sonuç doğurur. Bir diğer önemli işlem "lineer olmayan" "VE" işlemidir. İki girdinin ikisi de 1 ise, sonuç 1 olarak kaydedilir. Diğer tüm kombinasyonlar 0 ile sonuçlanır.

Bu işlemlerin yürütüldüğü araçlar "mantık anahtarları" olarak anılıyor. Bir sayısal bilgisayar "DEĞİL" ve "KOPYALA" gibi lineer, "VE" gibi lineer olmayan anahtarlarla donatılmışsa herhangi bir mantıksal veya aritmetik görevi tamamlayabilir. Aynı önerme, kuantum bilgisayarlar için de geçerlidir. Çeşitli bağımsız araştırma merkezlerinde yürütülen çalışmalar bir kuantum bilgisayarın her türden hesaplamayı gerçekleştirebileceğini ortaya koydu. Dolayısıyla her türden fiziksel olgudan yararlanılarak bir kuantum bilgisayar kurmanın olanaklı olduğu gösterilmiş oldu.

Aslında, çok amaçlı kuantum mantık anahtarlarının geçmişi transistörlerinki kadar eskiye dayanıyor. 1950'lerin sonlarında araştırmacılar parçacık spinlerini kullanarak iki bitlik kuantum mantık işlemlerini gerçekleştirdiler. Manyetik alan içinde parçacığın dönüş yönünü ifade eden spinler de enerji düzeyleri gibi tanımlanabilir niceliklere sahiptir. Bir yöndeki spin 1'i, diğer yöndeki spin 0'ı ifade eder. Araştırmacılar hidrojen atomundaki proton ve elektronların spin yönlerinin bağıllığından yararlandılar ve elektronun spinini 1'i ifade ettiği durumlarda protonun spin yönünü değiştiren bir düzenek kurdular. Bu araştırmacılar kuantum mantıkla ilgilenmediklerinden, elde ettikleri etkiye çift rezonans adını verdiler ve çift re-



Tatmin edici kuantum bilgisayarların piyasada görünmesi için daha çok erken. Ama birkaç bitlik deney modelleri şimdiden üretili. Bir kuantum bilgisayar çıktısı yukarıdaki gibi görünebilir. Parıltıların her biri, iyon kaplarına hapsedilmiş bağımsız civa iyonlarından yansıyan ışığı gösteriyor. Görüntüdeki noktaların hepsi '1' konumunda.

zonansla lineer "DEĞİL" ve "KOPYA-LA" işlemlerini gerçekleştirdiler. Daha sonra, bu yolda ilerleyen başka araştırmacılar aynı özelliği kullanarak "VE" anahtarı yaratmayı başardılar. Bu gibi bir düzeneği kablolarla birbirine bağlarsanız bir kuantum bilgisayar elde edersiniz. Ancak çift rezonans anahtarları, bildik bilgisayarlardaki gibi kablolarla basitçe birbirine bağlanamaz.

Araştırmacılar, kuantum mantık anahtarlarını birbirine bağlamak için daha sorunsuz yeni yöntemler geliştirdiler. Örneğin, fiber optik kablolar veya boşlukta iletilen fotonlar iki anahtar arasında veri iletimini sağlayabilir. Küçük bir hacim içine tek bir atomla birlikte hapsedilen fotonlar arasında lineer olmayan bir etkileşim oluşturulabiliyor. Bu düzenek çevresel etmenlerin zararlı sonuçlarını ortadan kaldırıyorsa da, uygulamada başka sorunları beraberinde getiriyor. Başka bir araştırmacı grubu, hücrelere hapsedilmiş iyonlardan oluşan birkaç bitlik işlemciler gerçekleştirmişler. Bit sayısı, hapsedilen iyonların sayısı çoğaltılarak artırılabilir.

Görünüşe göre bilim adamları kuantum mantık işlemlerini birkaç bitlik düzlemde gerçekleştirebiliyor. Yakın gelecekte bu sayı birkaç ona hatta yüzlere ulaşabilir. Sorun, normal olarak milyarlarca bitlik işlemler yapabilen günümüz bilgisayarlarını geçmekte yatıyor. Aslına bakılırsa bir bit kapsamında da olsa bir kuantum bilgisayar klasik bilgisayarların yapamayacağı işler becerebiliyor. Bunların başında gerçek anlamda rastgele sayı üretme yetisi geliyor. Şimdiki bilgisayarlar rastgele gibi görünen sayıları karmaşık fonksiyonlar kullanarak üretebiliyorlar.

Çokparçalıklı Kuantum Durumları

Sadece iki veya üç kubit ve bir veya iki kuantum mantık anahtarı kullanılarak büyüleyici kuantum durumları oluşturulabilir. Daha fazla bit kullanılarak, bir kuantum bilgisayarı herhangi bir kuantum sisteminin simülasyonunda kullanılabilir. Doğru programlandığında, bilgisayarın dinamiği, sistemin çevresiyle etkileşimi de dahil olmak üzere örneklenen sistemin tüm özelliklerini sergileyebilir.

Hatta, bir kuantum bilgisayarı paralel mimariye sahip olursa, komşu spin çiftlerinin ikili rezonansı sayesinde tüm kuantum sistemleri zaman ve boyutlardan bağımsız olarak taklit edilebilir. Gerçekleşebilirse, bu türden paralel kuantum hesaplamaları geleneksel metotlara göre dev bir hız artışı sağlayabilir. Feynman'ın da belirttiği gibi, kuantum sistemlerini klasik bilgisayarlarda simüle etmek sistemin ebatları ve zaman ile karesiyle orantılı aşama içeren işlemler gerektiriyor. 40 bitlik bir kuantum bilgisayarı 100 aşamalı bir işlem sonrasında çözüme ulaşırken trilyonlarca bit içeren klasik bir bilgisayarın çözüme ulaşması yıllar sürebilir.

Kuantum bilgisayarlarıyla ilgili olarak öngörülen özellikler arasında kuantum koşutluğuna dayanan bir özellik yer alıyor. Bu özelliğe göre, bilgisayarın tüm girdileri 0-1 dengesinde girilecek olursa program olası tüm girdilere karşılık gelen tüm çıktılarını aynı anda hesaplayabiliyor. Tuhaf gibi görünen bu özellik, özünde, tek sesli müzikle ifade edi-

lebilecek klasik bilgisayar yapılarına karşılık, senfonik bir yapıyı ifade ediyor.

Bu senfonik hesaplama özelliğinin, klasik bilgisayarların, hatta üstün bilgisayarların bile üstesinden gelemedikleri bir işin başarılmasında, çok büyük sayıların çarpanlarına ayrılmasında kullanılabilirliği gösterildi. Bir kuantum bilgisayarı üretilebilirse, çarpanlarına ayırma sıradan bir iş haline gelebilecek. Elektronik banka hesaplarının güvenliği gibi pek çok alanda kullanılan şifreleme sistemleri 100'den fazla haneli sayıların çarpanlarına ayrılamadıkları gerçeğine dayanıyordu. Kuantum bilgisayarları üretildiğinde tüm bu güvenlik sistemlerinin gözden geçirilmesi gerekecek.

Kuantum bilgisayarların yapılıp yapılamayacağı ateşli tartışmalara konu oluyor. Kuantum örtüşmenin ortam elverdiği sürece korunabileceği biliniyor. Kuantum bilgisayarların binler veya milyonlar mertebesinde atom içereceği düşünülürse ve bunlardan birinde ortaya çıkacak sorunun herşeyi bozacağı göz önünde bulundurulursa daha umutsuz bir tablo ortaya çıkıyor. Deneyler, bazı sistemlerin yalnızca birkaç saat boyunca dayanabileceğini gösteriyor. Kuantum bilgisayarların karşılaştığı bir diğer sorun, hata düzeltme zorluğu. Hata düzeltmede kullanılan klasik yöntem, bitlerin incelenip kontrol edilmesine dayanıyor ki; bu yöntem kuantum bilgisayarda belirsizliklere yol açabilecektir.

Araştırmacılar tüm umut verici gelişmeleri ve tüm engelleri göz önünde bulundurarak çok parçalıklı kuantum durumları üzerine çalışmalarına devam ediyorlar. Hayata geçirildiğinde veya geçirilebilirse, her alanda devrim yaratacak prototip kuantum bilgisayarların önünü açmak için her türlü çaba sarfediliyor.

Seth Lloyd
Scientific American, Ekim 1995
Çeviri: Özgür Kurtuluş