

IŞIĞI YAVAŞLATMAK, DURDURMAK VE DEPOLAMAK

Hızı, yürüme hızına yavaşlatılmış ışık, iletişim, optik depolama ve kuantum hesaplamalarında uygulama alanları buluyor.

Bir yıldırımın düştüğü uzaklığı hesaplarken ya da dünyanın öbür ucundaki birisiyle, bunu çok doğal kabul ederek konuşurken, hepimiz ışığın çok hızlı hareket ettiğinin farkındayız. Özel görellilik, evrende hiçbir şeyin, ışığın vakumdaki hızından (saniyede 299.792,458 metre) daha hızlı hareket edemeyeceğini söyler. Ancak ışığın ne kadar yavaş hareket edebileceği konusunda bir alt sınır yok. Son birkaç yıldır araştırmacılar için, ışığı saniyede birkaç metre hıza kadar yavaşlatmak, hatta şu aralar, tamamen durdurarak ileride kullanılmak üzere depolamak, sıradan bir süreç haline geldi.

Yavaşlatılmış ışığın oldukça popüler bir konu oluşu, ışık hızının görellilik ve kozmoloji bakımlarından öneminden olsa gerek. Eğer, örneğin, insanlar ve otomobiller gibi bildiğimiz nesnelere “yavaş” ışıktan daha hızlı hareket ederlerse, belki bu çok yavaş hızlarda görelliliğin etkileri de gözlemlenebilir.

Böyle bir şey yok ama, yine de, ışık istenen herhangi bir süre geciktirilebildiği için, yavaş ışık optik teknolojide önemli bir rol alacağına benzer. İnternet bandının genişletilmesi, optik veri depolama, kuantum bilgisi (information ?), hatta radar için tümüyle optik aygıtların geliştirilmesine yol açabilir.

Bir dalganın hızı

Her lise öğrencisinin bildiği gibi, ışık bir maddenin içinden geçerken vakumdaki hızından daha düşük hızla yol alır. Örneğin, camdan geçen ışığın hızı, vakumdaki hızından yaklaşık 1,5 kat daha yavaştır; yani camın kırınım indisi 1,5'tur. Kırınım indisi 5'e kadar yükselen maddeler olduğu bilinmekte; ama daha yüksek indisler çok sıradanıdır. Dahası, kırınım indisleri büyük olan maddelerin yansımaları da yüksektir. Bu nedenle de yavaş ışık oluşturmak için pek uygun değildirler.

Işığın hızının günlük dünyamızda alışık olduğumuz hızlara nasıl düşürülebileceğini anlamak için önce bir dalganın hızının birden fazla biçimde ölçülebileceğini anlamamız, özellikle de “faz hızı” ile “grup hızı” kavramlarını ayırtmamız gerekir. Faz hızı, kırınım indisi ile belirlenir ve kusursuzca tek renkli olan bir dalganın hareketinin hızıdır. Ne var ki, doğada bu tür kusursuz bir dalga yoktur ve bu nedenle faz hızı, hızın bir ölçütü olmaktan çok, soyut bir kavram olarak yararlıdır. Öte yandan, grup hızı, daha gerçekçi bir “dalga paketi”nin tepen noktasının hızıdır ki, bu genellikle dalganın enerjisinin yayılma hızıdır. Birçok durumda faz ve grup hızları hemen birbirinin aynısıdır; ama farklı oldukları zaman herşey daha ilginç olur.

Farklı dalga boylarındaki dalgalar, farklı kırınım indislerine sahip olduklarında, yani farklı faz hızlarıyla hareket ettiklerinde, grup hızı faz hızından farklı olur. Bu olay dağılım olarak bilinir. Bu olayı açıklamak için, iki periyodik yapıyı üstüste getirdiğimizde ne göreceğimizi düşünelim. Eğer tarak dişleri arasındaki mesafe farklıysa, art arda açık ve koyu renk bir dizi bant görünür. Eğer tarakları aynı hızla hareket ettirirsek bantlar da aynı hızla hareket ederler. Ama eğer tarakları birbirinden biraz farklı hızlarda hareket ettirirsek, örneğin bir tarafı sabit tutup ötekini hareket ettirirsek, açık ve koyu renk bantlar her iki taraktan da farklı hızlarla hareket ederler. Bu bantlar dalga gruplarına karşılık gelirler ve grup hızıyla hareket ederler. Dağılım çok yüksek olduğunda, grup hızı faz hızından oldukça düşüktür.

Elektromanyetik Şeffaflık

Bir ortamdaki grup hızını, faz hızının çok altına indirmenin birçok yolu var; ancak lazer ışınları kullanarak atomları, durumları üstüste binmiş biçimde (kuantum süperpozisyon konumunda) yer-

leştirme, en sık kullanılan yöntem. Bir atomun süperpozisyon durumundaki içsel enerjisini ölçmeye çalışırsak, her biri belirli bir olasılık taşıyan iki farklı sonuç elde ederiz. Bütün atomların aynı süperpozisyon durumunda olduğu bir ortama “uyumlu” denir ve normal atomlardan oluşmuş bir ortamdaki çok farklı elektromanyetik özelliklere sahiptir.

Normal atomlar “rezonant” olan frekanslarda çok yüksek dağılıma sahiptirler. Eğer ışığın, bireysel fotonları bir atomu, bir içsel kuantum durumundan bir başkasına yükseltmek için gereken enerjiye sahipse, o ışığı rezonant denir. Ancak bu tür bir dağılım her zaman işe yaramaz; çünkü rezonant frekanslarda maddelerin emme gücü de çok yüksektir. Tutarlı bir ortamdan geçen ışığın dağılımı çok daha yüksek olabilir; aynı zamanda atomlar da süperpozisyon durumunda olduklarından, uyarılma süreçleri birbirini götürebileceği için daha az ışık emilir. “Elektromanyetik indüklemeye şeffaflığı” (EIT) denen bu yöntem, deneysel bakımdan önemli; çünkü ortamın özelliklerini incelemek için yavaş ışığın böyle bir ortamdan geçmesi, gerçekten sağlanabiliyor.

Kuantum süperpozisyon yöntemiyle, saniyede 100 metreden daha düşük hızla hareket eden ışık atmaları (pulse) kolayca elde edilebilir; hatta bu yöntemle ışığın hızı saniyede 1 metreye yani yürüyüş hızına indirilmiş bulunuyor. Daha çok gazlarla kullanılmış olan bu teknik, pratik uygulamalar için daha umut verici olan katı maddelerle de olumlu sonuçlar verdi. Örneğin, Texas'taki A&M Üniversitesi'nden Philip Hemmers'ın grubu, kısa süre önce EIT yöntemiyle, ışığın hızını praseodim eklenmiş bir katı kristal içinde, saniyede 30-40 metreye indirdi.

Işığın grup hızını düşürmek için başka birçok yöntem bulunuyor. Örneğin, dar bir frekans bandındaki bir ışık dalgası, ışığı kıran bir maddenin

düz parlak düzeyinde ince paralel çizgiler (grating) oluşturabilir; bu da yüksek bir dağılıma yol açar. Novosibirsk'teki Rus Bilim Akademisi'nden Evgeni Podivilov ve meslektaşları, bu dağılımı kullanarak bir ışık atmasının hızı için saniyede çeyrek milimetrenin altında bir değer elde ettiler. O sırada Rochester Üniversitesi'nden Robert Boyd ve ekibi bir yakut kristalinde çok düşük grup hızları elde etmeyi başardılar. Kırınım indisini dar bir frekans bandında değiştirmek için EIT gibi, tutarlılık türü özelliklere başvurmadan, lazer ve maddenin alışılmış biçimde uyarılmasından yararlandılar. Tıpkı yarıiletkenlerin elektrik akımını engellediği gibi, ışığı engelleyen fotonik kristallerin kırınım indisi de, dar bir frekans bandı içinde ışığın hızını günlük yaşamımızda tanış olduğumuz hızlara indirecek biçimde düzenlenebilir.

Daha Büyük Bant Genişlikleri

Yavaş ışığın telekomünikasyon ve bilgisayar ağlarına uygulanması ticari bakımdan oldukça ilgi konusu oldu. Örneğin, günümüzde İnternet yoluyla iletişimde optik veriler elektrik sinyallerine dönüştürülür; sonra da ağların birleştiği yerlerde tekrar ışık atmalarına. Tümüyle optik bir yönlendiriciyle (router) bu dönüşüme gerek kalmaz; iletim süresi darboğazi önemli ölçüde ortadan kalkar ve İnternet'in bant genişliği artar.

Ne var ki böyle bir aygıt, yapması zor olan bir optik ara (tampon) bellek gerektirir. Verilerin tamponlanmasının birçok nedeni var; bunlardan en yaygın olanıysa, teker teker yönlendirilecek paketler olarak toplanmaları. Günümüzde tamponlama için optik fiber halkalar (loops) kullanılmakta; ancak bunlar da sabit diskler gibi sabit bir erişim süresine sahip. Yavaşlatılmış ışık bunu aşabilir; çünkü bir ışık atması sabit bir uzaklığı katederken, grup hızı değiştirilerek gecikme süresi ayarlanabilir.

Ultra-yavaş ışığın yararlı olabileceği bir başka alan da kuantum bilgi işlem alanı. Bir kuantum bilgisayarı, bilgi işleme için, sonunda elektron yerine ışık kullanılabilir ve klasik bilgisayarların yapamayacağı hesapları yapabilir. Ancak bunu yapmak için kuantum bilgisayarı, koşullu bilgi aktarımına gerek duyar. Örneğin, tek bir fotonun kuantum durumuna bir faz faktörü bağlanabilmesi için (ki, bunun gerekli koşulu, aynı kovukta farklı frekansta ikinci bir foton bulunması) tek bir fotonun durumunu nasıl kontrol ve manipüle edeceğimizi öğrenmemiz gerekir. Bireysel fotonlar arasındaki bu etkileşimleri kontrol etmek için, tıpkı yavaş ışık için kullanılanları gibi, doğrusalıktan çok uzak nitelikleri olan optik maddeler kullanmak gerekir.

Bilgiyi işlemek için bir kuantum bilgisayarı, hesaplamada kullanılan elementlerin kuantum durumlarını depolayacak bir belleğe sahip olmalıdır. Ne yazık ki fotonları depolamak, son derece güç. Onları optik fiberlerden hızla geçmeye zorlayarak bunu aşabiliriz. Aşırı yavaş ışığın en iyi yaptığı şey de bu. Bir yavaş ışık fotonunu belirli bir uzaklığa gönderdiğimizde, belirli bir zaman sonra yolculuğu sona erdiğinde kendi asli kuantum durumunda ortaya çıkar. Dahası, yavaş ışığın hızı ayarlanabildiği için, bilginin "bekleme süresi" de ayarlanabilecektir. Öyleyse ışığı, örneğin, atomlardan oluşan bir ortamda depolayıp daha sonra onun kuantum durumunu tam olarak okuyabiliriz.

2001 yılında Harvard Smithsonian Astrofizik

Merkezi'nden Mikhail Lukin ve ekibi, oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıktaki rubidyum atomlarından oluşmuş gazı kullanarak, tam da bunu gerçekleştirdiler. Önce, bir "eşlikçi" (coupling) lazer kullanarak atomları bir süperpozisyon durumuna getirdiler. Bu yolla gazın emilmesi önlenerek, ikinci bir "kılavuz" lazeri (probe laser) için şeffaf duruma getirildi. (EIT'nin özü budur). Son derece yavaşlatılmış kılavuz ışık atması gazdan geçerken, Harvard ekibi kılavuz lazeri kapattı ve madde tekrar opak duruma geldi. Bunun anlamı, yavaş ışık atmasının emilmiş olmasıydı; ama asıl önemli yanı, atomların kuantum süperpozisyon durumunda kalma sürelerinin, kullanılan lazerlerin frekansları ve kapatılmalarının zamanlamasıyla belirlenmesiydi. Rubidyum atomları bir anlamda damgalanmıştı ve bu damga bir dış müdahaleyle bozulmazsa, eşlikçi lazer daha sonra yeniden çalıştırılarak yavaş-ışık atması da yeniden yaratılabiliyordu.

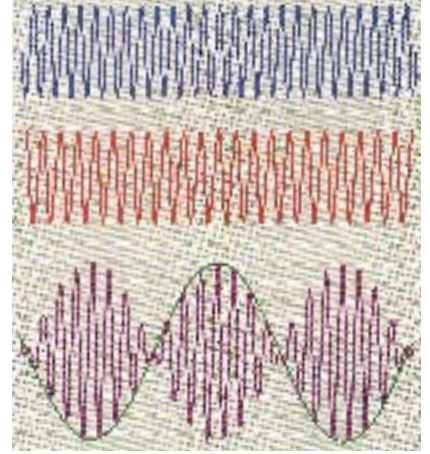
Bu yöntem, ışığı depolamak için kullanılan "foton yankıları" gibi başka yöntemlerden çok farklı; çünkü yeniden oluşturulan ışık atması, orijinalinin tam bir kopyası oluyor. Bu nedenle orijinal ışığın bir kuantum-bilgisayarda kullanılabilen bütün kuantum özellikleri de yinelenir. Ayrıca eşlikçi (ya da eski duruma getirci) lazer, orijinaline göre ters yönde yayılırsa, yinelenen ışık da orijinal atmaya göre zaman-tersinmelidir. Bu durum, optik kuantum bilgisayarlar, hatta optik sinyal işleme de yararlı olabilir; çünkü, ışık demetinin geçirdiği değişiklikler kolayca ters çevrilebilir. Orijinal lazerinkinden farklı frekansta yineleme lazeri kullanılarak, eski durumuna döndürülen ışığın frekansı da kaydırılabilir. Bu süreç multiplexing olarak bilinir ve iletişim araçlarının bant genişliğini artırmak için telekomünikasyon sanayiinde yaygın olarak kullanılır. Son olarak, orijinal atmanın damgalandığı ortam fiziksel olarak hareket ettirilirse, ışık tümüyle farklı bir yerde de eski haline dönüştürülebilir. Bu, kuantum ışınlamadakin benzer bir durumdur.

Donmuş Işık

Lukin'in ekibi, 2004 yılı sonlarında bir ışık atmasını tam hareketsiz duruma getirmeyi, ya da "dondurma"yı başardı. Bunun için araştırmacılar, daha önceki depolanmış ışık deneyleriyle işe başlamışlardı; ama ışık atmasını yeniden oluşturmak için tek bir lazer kullanmak yerine, ileri ve geri doğrultulu yineleme lazerlerinin her ikisini de kullandılar. İleriye ve geriye doğru alanların girişimi, şiddeti periyodik olarak değişen hareketsiz bir dalga oluşturur. Yeniden oluşan alanlar, bu nedenle, yeniden oluşma ve emilme süreçlerini art arda yaşar ve sonuçta tek bir konumda çakılır kalır. Belirlenen bir süre sonra, kılavuz atması, istenen doğrultuda tekrar oluşturulabilir.

Işığı dondurmanın başka yolları da olabilir. Yakın zamanda, Texas A&M Üniversitesi araştırmacıları, hareket halindeki bir ortamda yol alan yavaş ışığın ortamlarına beraber "akacağı" öngördüler. Saniyede 300 metre hızla hareket eden bir ortamdan, aynı hızla ters yönde giden bir yavaş ışık atması düşünelim. Hareketsiz bir gözlemci için, ışık atması hareketsizmiş gibi görünür.

Bir gaz içindeki moleküllerin, rastgele doğrultularda saniyede yaklaşık 300 metre hızla hareket ettiğini düşününce, bu yükü oldukça ilginçleşir. Yavaş ışık atmasına ters yönde dönen molekülleri bir yolla ayırdedebilsedik, ışık atması donmuş gibi



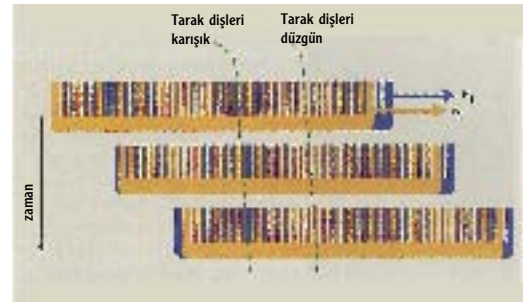
Frekansları çok az farklı olan iki sinüzoid dalga üst üste geldiklerinde (yani dağılımlı bir ortamda) girişim yaparak, yüksek ve düşük genliği olan bölgeler oluştururlar. Yüksek frekanslı bir taşıyıcı dalganın genliği, daha düşük frekansta bir "zarf" dalga ile modülasyona (değişime) uğramış gibidir. Dağılımı yüksek bir ortamda zarf dalga, içerdiği taşıyıcı dalgadan çok daha yavaş hareket eder. Zarf hızına grup hızı, taşıyıcının hızına da faz hızı denir.

görünürdü. Bu yöntemle ışığı dondurma, henüz deneysel olarak başarılı olmuş olmasa da NASA'nın Jet İtke Laboratuvarı'ndan Dimitri Strekalov ve çalışma arkadaşları kısa süre önce, bir ışık atmasının, yalnızca ters yönde hareket eden atomlarla etkileştiği zaman yavaşlatılabileceğini gösterdiler. Saniyede 2000 metrelik bir grup hızıyla harekete başlayan ışık atmasını, saniyede 20 metreye kadar yavaşlatmayı başardılar. Bu yalnızca %1'lik bir yavaşlama olsa da, bir önceki paragraftaki sonucu kanıtlıyor.

Foton Çiftleri

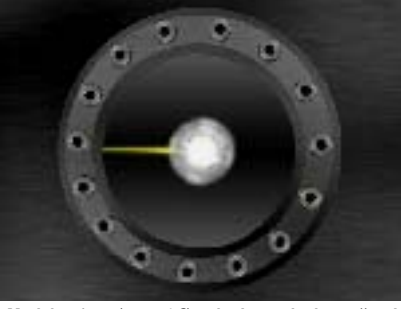
Yavaş ışık aynı zamanda ışık dalgasının ölçülmesi konusundaki temel belirsizliği azaltmada etkili olabilir. Belirsizlik ilkesi, bir ışık dalgasının genliğini (yani parlaklık derecesini) ve fazını (yani dalgadaki titreşimlerin tam zamanlarını) aynı anda mutlak doğrulukla bilmenin olanaksız olduğunu söyler. Ölçümlerin duyarlılığını sınırladığı için, optik iletişim ve hesaplama konularında bu belirsizlik son derece önemli sonuçlara yol açar.

Ancak genlik ve faz belirsizlikleri olsa bile, her



Grup ve Faz Hızları

Faz hızı ile grup hızı arasındaki farkı, diş aralıkları farklı olan iki tarağı üstüste koyarak kolayca görebiliriz. Farklı aralıklı dişlerin girişimi sonucu, açık ve koyu renk bantlar oluşur. Eğer taraclar birbirlerine göre farklı V_1 ve V_2 hızlarıyla hareket ettirilirse, koyu ve açık renk bantlar her iki taraaktan da farklı hızla hareket ederler. Bu hız grup hızı, taracların hızına da faz hızı denir.



Mutlak sıfırın (-273 °C) yakınlarına kadar soğutulmuş ve elektromanyetik etkiyle asılı duran sodyum atomları bulutuyla birlikte görülen, vakumla yalıtılmış bir odacık. Harvard araştırmacıları buluta ışık atması gönderdikten sonra, ışık, önce belirgin biçimde yavaşlayarak sonra da tümüyle durdu.

iki atomda da belirsizliklerin aynı olduğu atom çiftleri oluşturabiliyoruz. Bu, bizim tek fotonlardan daha kesin ölçümler yapmamızı sağlıyor; çünkü iki foton aynı anda ölçüldüğünde, belirsizlikler birbirini götürür. Bu tür "korelasyon" (karşılıklı uyum) durumunda olan ışık atmaları, kısa süre önce Harvard grubunun yürüttüğü bir başka deneyde de elde edilmişti.

Bu deneyin iki aşamadan oluştuğu düşünülebilir. Önce, gazdaki atomlardan rezonant olmayan zayıf bir lazer geçer; gaz, lazerdeki fotonları önce emer, sonra biraz daha düşük frekansta, ya da buna eşdeğer olan, düşük enerjide fotonlar salar. Bu sürece Raman Geçişi denir. Emilmiş olan her lazer fotonu için, geride daha yüksek enerji durumunda bir atomun kalması beklenir; ama bu kuantum mekaniği için geçerli değildir. Bunun yerine, atomlar topluluğunun bir-kuanta enerji aldığını; yani aynı anda bir çok atomun uyarılmış duruma geçtiğini düşünürüz. Kuantum optik diliyle, "çok parçacıklı bir spin dalgası uyardık" deriz. Çünkü saçınım süreci, atomlar topluluğunun açılma momentini değiştirir.

Spin dalgasında depolanmış olan durum, ikinci bir Raman geçişiyle tekrar elde edilebilir? spin dalgasının yeni bir ışık ışınına tutarlı bir geçişi. Yeni oluşmuş bu ışık ışınının belirsizliğindeki değişiklik, lazer ışınının belirsizliğindeki değişimlerle tam korelasyon içinde olduğu için artık elimizde belirsizlikleri tıpatıp aynı olan iki ışık ışını vardır. Ayrıca, spin dalgası içinde bulunduğu ortamda uzun süre kalmaması, birbirleriyle korelasyon halinde olan fotonlar arasındaki zaman farkının oldukça fazla olabilece-

ği anlamına gelir; ki bu, onların kuantum belleği olarak yararlarını çok artırır. Korelasyon içindeki foton çiftlerinden, kuantum mekaniğinin temel yönlerini sınamak için de yararlanabiliriz. Yine Texas A&M Üniversitesi'nden Marlan O Scully'nin geliştirdiği kuantum silicisi kavramı, bu amaçla kullanılabilir.

Kuantum Silici

Kuantum mekaniğinin sıkça yanlış anlaşılan yönlerinden biri de, belirsizlik ve tamamlayıcılık arasındaki karşılıklı ilişkilerdir. Kuantum mekaniğinde değişken çiftlerinin değerlerini aynı anda tam olarak bilmemiz olanaksızsa, o çiftlere tamamlayıcı denir. Konum ile momentum, enerji ile zaman, tamamlayıcı çiftlerdir. Aralarındaki karşılıklı etkileşimi, Young'un ince yarık deneyi ile anlayabiliriz.

Özdeş iki atomun, onların rezonans frekansına ayarlanmış bir lazer tarafından aydınlatıldığını düşünelim. Bu durumda atomları uyumlu bir ışık kaynağı çifti olarak düşünebiliriz; çünkü ışığı emecek ve tekrar salacaklar. Eğer iki atomdan saçılan ışıkların bir detektöre düşmesini sağlarsak, bir dizi parlak ve karanlık saçaktan oluşmuş bir girişim örüntüsü görürüz. Detektörden iki atoma olan uzaklık, dalga boyunun tam katı olduğunda parlak bir saçak, yarısı olduğunda da koyu bir saçak görünecektir. Tek bir fotonla bile girişim görülebileceğini unutmamak, can alıcı önem taşır. Işık şiddetini, iki atomdan çıkan fotonları alması biçimde salınacak ölçüde azaltmakla, bu sağlanabilir.

Şimdi fotonu hangi atomun saldırdığını bildiğimizi varsayalım. Bu, Young'un yarık deneyinde, salınan fotonun hangi yarıktan geçtiğini bilmekle aynı şey. O zaman girişim örüntüsü yok olur! Uzun süre, girişim örüntüsünün yok oluşunun nedeni, fotonun salınan atomun geri tepmesi ile bağlantılı olarak, fotonun konumundaki belirsizlik olduğu düşünülür. Ancak, şimdi nedenin konum-momentum belirsizliği değil, "hangi izlek" bilgisine sahip olmaktan kaynaklandığı anlaşılabilir. Bu, kuantum mekaniğindeki tamamlayıcılık ile belirsiz-

lik arasındaki farka da ışık tutar: konum ve momentum tamamlayıcı değişkenlerdir ve belirsizlik ilkesiyle kendini açığa vuranların ötesinde olan, gözlemlenebilir etkilere yol açar.

Bu açıklama için can alıcı test, "hangi izlek" bilgisini silmek ve girişim örüntüsünün tekrar ortaya çıkıp çıkmayacağına bakmak? Hatta fotonların salınmasından uzun süre sonra olsa bile. Bu "geçikmiş seçim" kavramı çok önemlidir; çünkü etkenin, bir değişkeni ölçmenin öteki değişkeni etkileyeceği değil, "hangi-izlek" bilgisinin bilinmesi olduğunu gösteriyor. Yukarı grubunun ürettiği türden, geciktirilmiş-seçim kuantum silicileri gibi korelasyonlu fotonlar burada önem kazanıyor.

İlk lazer, atomlarda bir spin dalgası uyarıyor ve foton çıkışına yol açıyor. Bu dağınmış ışıkta "hangi izlek" bilgisine sahip olduğumuzdan? yani atomların hangisinin farklı bir spin durumunda kaldığını anlamak üzere bakabileceğimize? Yani girişim örüntüsü görmek olanaklı değil. Ancak, ikinci bir Raman saçılmasıyla ilk lazer yeniden oluştuğunda, atom da yeniden ilk durumuna döner ve hangi izlek bilgisi silinir. Eğer girdiyle tekrar oluşan fotonlar arasındaki korelasyona bakarsak, girişim örüntüsü yeniden ortaya çıkar.

Yavaş Işığın Geleceği

Işığı saniyede birkaç metre hıza yavaşlatmak, bildiğimiz dünyada tuhaf "görelilik" olayları göreceğimiz anlamına gelmez. Yavaş ve hareketsiz ışığın uygulamaları, birçok bakımdan çok daha sıradan. Ele aldığımız, optik depolama ve bireysel fotonlar için kuantum belleği gibi uygulamaların hepsi, yavaş ışık, kontrol edilebilen bir süre geciktirebildiği için olanaklı. Ancak bunun optik teknolojideki sonuçları çok daha kapsamlı. Ayrıca, yavaş ışık kuantum bilgisayarlar, kuantum şifreleme ve temel fiziğin test edilmesi gibi uygulamalarda kullanılıyor. Yavaş ışıkta ilerleme, değil sona yaklaşmak, havalanmaya yeni başlamış durumda.

O Scully, M., Welch, G. R. "Slow, stopped and stored light" Physics World, Ekim 2004

Çeviri: Nermin Arık

Radar İçin Yavaş Işık



İlk bakışta yavaş ışık, radar sistemlerinin gelişmesi için gerekenin tam tersiymiş gibi görünür. Ancak yavaş ışık, askeri ve ticari uygulamalarda kullanılan faz-dizisi (farklı fazlarda bir dizi radar) radarlarda demet yönlendirme ve hedef seçme işlevlerini iyileştirebilir. Modern faz-dizisi radarlar binlerce, hatta milyonlarca alıcı ve verici kullanır ve bu cihazların fazlarının dikkatle kontrol edilmesi gerekir. Bilgi, daha çok optik fiberler üzerinden gönderilir ve optik sinyaller, vericide yüksek hızlı fotonik aygıtlar kullanılarak radyo frekanslarına dönüştürülür. Bu nedenle optik atma dizileri radyo dalgalarına dönüştürülmeden önce, çeşitli vericilerin fazları geciktirilerek kontrol edilir. Günümüzdeki sistemler, geciktirme hatları işlevi için önceden farklı boyutlarda kesilmiş optik fi-

ber demetleri kullanırlar ve istenilen gecikmeyi farklı boyutlardaki fiberlere bağlanarak sağlarlar. Bu teknik, optik atmalarda değişken gecikme sağlamak için mikro-elektro-mekanik (MEMS) sistemle beraber kullanılabilir. Önceden kesilmiş fiberler ancak belirli sayıda olabileceği için, bu yolla atma gecikmesi sürekli biçimde ayarlanamaz. Bunun sonucunda radar birimleri arasındaki faz farkları tam olarak seçilemez ve radarın doğrultu saptama yeteneği belirsizleşir. Eğer yavaş ışık kullanılsaydı, optik atmaların hızı sürekli biçimde ayarlanabilirdi. Örneğin EIT ile yavaşlatılmış ışık için grup hızının, lazer şiddetinin basit bir monoton (tek-düze) fonksiyonu olduğu ortaya çıkar. Radar kullanıcıları, optik atma sinyallerini bir yavaş ışık ortamına yönlelterek, istenen herhangisi bir gecikmeyi seçebilirler ve faz dizisi radar sistemlerinde, sinyal-gürültü oranını çok daha fazla artırma olanağı sağlarlar.



Rochester Üniversitesi'nden Robert Boyd'un geliştirdiği "masaüstü" yöntemle ışığı yavaşlatmak için gerekli optik düzenek, lazerler ve küçük bir yakut kristalinden oluşuyor. Işık, bu yöntemle saniyede yaklaşık 300 kilometreden, 186.000 milden, saniyede 17 metreye kadar yavaşlatılabilir.