

Madde Dalgalarını Yükseltmek

Yükselticilerin bulunmadığı bir çağdaş yaşam düşünmek güç. İster stereo setiniz bir Mozart konserini aslını aratmayacak biçimde iletisin, isterse cep telefonunuz telsiz konuşmasını güçlendirsün, yükselticiler günlük yaşamımızın bir parçası olmuş durumda. Adından da anlaşılabilir gibi yükselticiler bir sinyali güçlendiren aygıtlar. Genel olarak sinyal, salınımlı bir elektrik akımı, bir radyo dalgası ya da ışık demeti gibi bir dalgadan oluşur. Kuantum mekaniğinde madde de bir dalga olarak tanımlanabilir. O halde öteki dalgalar gibi madde dalgaları da yükseltilebilmeli. ABD'deki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) araştırmacıları, bir Bose-Einstein çökeltisi kullanarak ilk kez bir madde (atom) dalgasının faz uyumlu biçimde yükseltilebileceğini gösterdiler.

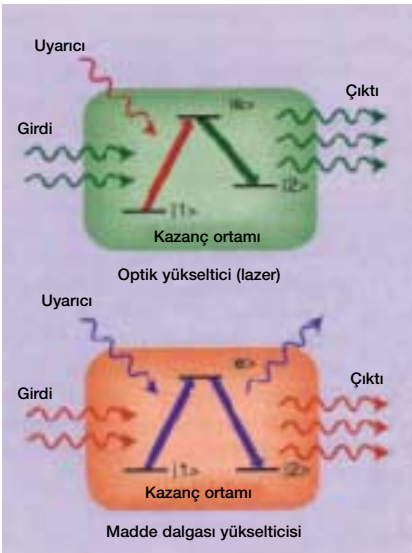
Maddenin, kuantum, ya da dalga mekaniği açısından yorumunda atomlar, hızlarına ters orantılı dalga boylarına sahip oluyorlar. Oda sıcaklığındaki atomlar için bu dalgaboyu bir nanometreden (maddenin milyarda biri) daha kısa. Ayrıca atomlar

her yönde büyük hızlarla hareket ettiklerinden iki atomun aynı zamanda, aynı yerde ve aynı hızda birlikte bulunmaları olasılığı son derece düşük. Bu da günlük yaşantımızda atomların dalga özelliklerini gözleyebilmemizi güçleştiriyor. Bose-Einstein çökeltisiyse, bilimsel tanımıyla, içindeki parçacıklardan birçoğunun aynı kuantum durumunu paylaştığı bir "kuantum gazı". Yani bu parçacıklar, aynı zamanda, aynı yerde ve aynı hızda bulunuyor. Bu durumda Bose-Einstein çökeltisi, makroskopik bir dalga gibi davranıyor. Bose-Einstein çökeltisinin oluştuğu çok düşük sıcaklıklarda [10-20 nanokelvin (-273°C'nin biraz üstü)] atomların dalga boyları onlarca mikrometreye kadar çıkar ve sıradan optik araçlarla gözlenebilir. Aynı (uzun) dalga boylarındaki çok sayıda atom, Bose-Einstein çökeltisini, madde dalgalarının nasıl yükseltilebileceğini gösteren ideal bir araç yapıyor.

Bir yükselticinin temel işlevi, bir dalgayı (girdi) alıp, daha yoğun, ama özünde aynı bir dalga (çıkış) üretmek. Pratikte, yükseltici içinde bir

kazanç ortamı bulunur. Bu ortamda, girdiyle bağıntılı olarak çıkışa bir dış enerji (uyarım kaynağı) transferi yapılır. Çıktının, girdiye göre artış miktarı, yükselticinin kazanç kapasitesini belirler. Optik bir yükselticide, yani lazerde kazanç ortamı, (gaz, sıvı ya da katı) atom ya da molekül topluluğudur. Bu atom ya da moleküllerdeki enerji öyle bir düzeydedir ki, aralarındaki bir geçiş, yükseltilecek ışığın dalga boyuna eşit olur. Uyarım kaynağı atomlardan bazılarını iki enerji düzeyinden daha yüksek olanına geçirir. Girdi dalgası daha sonra bu enerjisi yükselmiş atomları daha alt enerji düzeylerine düşmeye iter. Bunlar da bir alt düzeye düşerken girdi dalgasıyla aynı yönde ve aynı dalga boyunda ışınım yayarlar. Bu sürece uyarılmış yayım denir. Lazer sözcüğü de İngilizce de "uyarılmış ışınım yayımı yoluyla ışığın yükseltilmesi (light amplification by stimulated emission of radiation)" sözcüklerinin baş harflerinden oluşur.

Madde dalgası yükselticisi de, aynı uyarılmış yayım ilkesine göre çalışır. Tek fark, ışınım yerine atom yayımı uyarılır. Işığın tersine atomlar boşluktan yaratılamaz; bu nedenle de bir yayımlanacak atom deposu olması gerekir. MIT araştırmacıları, girdi dalgasını hazırlamak için bir Bose-Einstein çökeltisinin optik olarak yaratılmış Bragg girişimini kullanmışlar. Bu, atomların küçük frekans farkları olan iki lazer ışın demetine tutulduğu bir süreç. Başta hareketsiz durumda olan atomlar, daha yüksek frekanslı lazer ışından bir foton alıp, daha düşük frekanstakine verir. Sonuçta, atomlar, iki frekans arasındaki, dalga boyları ve görece yönleriyle belirlenen momentum farkına eşit bir momentum kazanır. Böylece, seçilmiş bir yönde



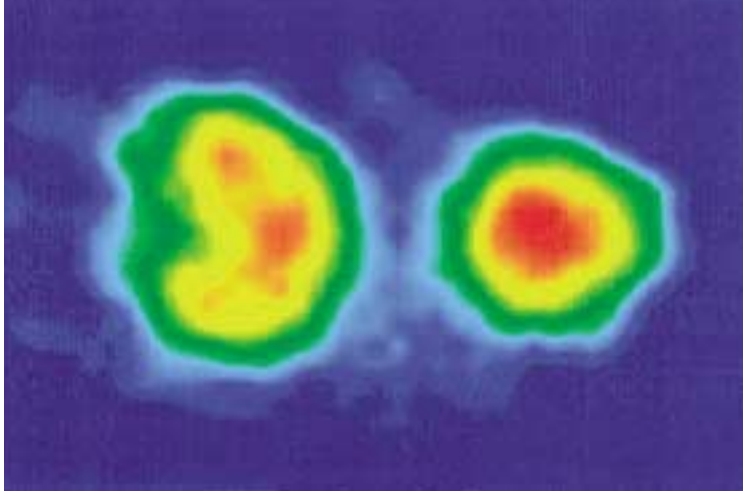
Optik dalga mı, madde dalgası mı? Optik bir yükselticide (lazerde) kazanç ortamı, en az üç enerji düzeyindeki atom ya da moleküllerden oluşur. (1) deki atomlar, bir uyarıcı kaynağıyla (örneğin bir başka lazer) (e)'ye transfer edilir. Girdi dalgası, atomları (2)'ye geçmeye ve bir foton yayımlamaya sevkeder. Yayınlanan foton. Girdi fotonlarından farksızdır. Böylece daha yoğun ama başka özellikleri bakımından girdiyle tıpatıp aynı olan bir çıkış dalgası oluşur. Madde dalgası yükselticisindeyse, atomlar için üç farklı enerji düzeyi gereklidir. Işığın tersine, madde dalgası yükselticisinde atomlar boşluktan yaratılamazlar. Dolayısıyla da kazanç ortamı aynı zamanda bir atom deposu işlevi görür. Bir uyarıcı fotonunu soğurduktan sonra (e) uyarılma düzeyindeki atom, başka bir foton yayımlayarak rastgele fazda bir başka duruma, örneğin (2)'ye geçebilir. Ama girdi madde dalgasının varlığında, uyarılmış atom, girdi atomlarıyla aynı hız ve fazla (2)'ye girme eğilimi taşır. Böylece daha yoğun, ama başka bakımlardan girdiden farksız bir dalga çıkışı oluşur. Yükseltme süreci, kazanç ortamındaki her atom (2)'ye geçtiğinde sona erer.

geri tepen bir girdi madde dalgası yaratılmış olur.

Girdi dalganın yükseltilmesi, Bose-Einstein çökeltisinin, Bragg girişimi için kullanılan lazerlerden biriyle yoğun biçimde "uyarılması" yoluyla gerçekleştiriliyor. Bu durumda çökelti, kazanç ortamının işlevini görüyor. Çökeltideki atomlardan bazıları, lazerden bir foton soğuruyorlar ve soğurdukları fotonu rastgele yayımlamadan önce girdi madde dalgasını "görmeleri" durumunda, fotonları öteki lazer demetinin yönünde yayımlıyorlar. Sonuçta, geri tepen atomlar, girdi dalgasıyla aynı momentuma (aynı yöne ve dalga boyuna) sahip oluyorlar. Başka bir deyişle, girdi dalgası, uyarılmış yayım yoluyla güçlendirilmiş oluyor ve uyarılmış kazanç ortamından daha büyük bir çıktı dalga oluşturuyor. MIT araştırmacıları, deneylerinde 10-100 düzeylerinde kazanç gözlemişler. Bunun anlamı, yükseltme sürecinden sonra girdi atımının (pulse) içinde 10-100 kat fazla atom olması.

Girdi dalgasından daha yoğun ama başka bakımlardan bu dalgayla tıpatıp aynı bir dalga oluşturan yükselticiler, "faz uyumlu" olarak tanımlanıyor. Tanım, bunları yalnızca çıktının kuvvetini arttıran yükselticilerden ayırıyor. Eğer bir kesim işlemde kullanılmak için yüksek güçte bir ışık demetine gereksinim duyuyorsanız, yalnızca kuvvet arttıran yükselticiler işinizi görür. Faz uyumlu yükselticilerse, interferometri (girişim ölçümü) ya da faz modüllü sinyal iletimi girişim "faza duyarlı", işlemler için önemli. Araştırmacılar, yükselticilerinin faz uyum derecesini denemek için interferometri tekniğine başvurmuşlar. Optik uyarımlı Bragg kırılmımdan yararlanarak, girdi atımıyla aynı (pulse) değerde bir kontrol atımı oluşturmuşlar. Bu kontrol atımının, yükseltilmiş atımla yaptığı girişime bakarak, sürecin faz uyumlu olduğunu doğrulamışlar.

Şimdiye değin yapılan çalışmalarda, uyarılmış yayım sürecinde faz uyumu gözlenememiş. Çökeltide optik olarak uyarılmış atomların madde dalga yükseltimi için bir kazanç ortamı işlevi görme yetenekleri, ilk kez MIT ekibince saptanmış. Ekip, daha önce kendiliğinden yayım yoluyla foton yayan uyarılmış bir çökeltinin, yayımı rastgele bir yönde yükseltecek yeterli kazançta sahip olduğunu gözlemiş. Bu süreç, atom buharlarında kendiliğinden yükseltilmiş ışık yayımını andırıyor. Uyarılmış atom yayımı, dört farklı dalgadaki atomların karışımında da ortaya çıkıyor. Bu durumda uyarılmış atom yayımı, optik bir alandan gelen uyarıyla değil, Bose-Einstein çökeltisindeki atomların dalga ortalamasıyla etkileşimleri sonucu oluşuyor.



Araştırmacıların, madde dalgalarının, fazlarını koruyarak yükseltilebileceğini kanıtlamaları, hızla gelişen madde dalgası optiği alanında heyecan verici bir gelişme olarak değerlendiriliyor. Daha şimdiden, benzer deneylerin Tokyo Üniversitesi'nde de tekrarlandığı bildiriliyor. Ancak yöntem, kolayca gerçekleştirilebilen bir şey değil. MIT araştırmacıları, faz uyumlu yükseltmeler için 4 düzeyinde bir kazançtan söz ediyorlar (sayısal kazanç ise 10-100 arası). Nedeni, fotonların tersine atomların birbirleriyle doğrudan etkileşerek, yükseltilmiş madde dalgasının bozulmasına yol açabiliyorlar. Gene de bu deneylerin, lazerlere en yakın madde dalgası örneklerini ortaya koyduğu düşünülüyor. "Atom lazerleri"nin ilk örnekle-

ri, bir Bose-Einstein çökeltisinden düzenli bir atom demeti elde edilmesi temeline dayanıyordu. Bazı fizikçilerse, atomların gerçekte "yükseltilemeyeceği" savıyla, benzetmenin yanlış olduğu görüşünü savunmaktaydılar. Uyarılmış atom yayımı yoluyla faz uyumlu madde dalgası yükseltimiye, gerçek bir atom lazeri ne daha yakın bir uygulama.

Bu araştırmaların gelecekteki etkisi konusunda şimdiden bir şey söylemek güç. Ne var ki, hiç kimse çağdaş lazerlerin başarısını, ilk başta aklına bile getirememişti. İlk lazerler de, biri kendilerine yararlı bir işlev bulana kadar yıllarca laboratuvarlarda çürüyen koca koca aygıtlardı. Uyumlu bir madde dalgasıysa, kullanılması bir lazere göre çok daha güç bir araç. Örneğin, lazerdeki camın tersine, atomların

içinden kolaylıkla geçebilecekleri bir materyal bulunmuyor. Üstelik atomların da son derece yüksek bir vakumda tutulmaları gerekiyor.

Bu sorunlara karşın, madde dalgalarının, lazer ışığından daha yararlı olduğu durumlar da var. Örneğin, faz uyumlu optik yükselticiler, kütleçekiminin duyarlı bir biçimde ölçülebilmesi için optik

interferometre jiroskoplarında kullanılıyor. Ancak madde dalgası interferometre jiroskoplarıysa, duyarlılıkta optik benzerlerini geçmiş bulunuyor. Ancak bir madde dalgası yükselticisi yardımıyla bu duyarlılık daha da yükseltilebilir. Faz uyumlu optik yükselticiler, optik lifle yapılan iletişimde olduğu gibi, bir lazer çıktılarının yükseltilmesinde kullanılabilir. Benzer biçimde, bir faz uyumlu madde dalgası yükselticisi de, örneğin atom litografisinde, bir atom lazerinin çıktısının güçlendirilmesinde kullanılabilir. Madde dalgalarının bu biçimde yükseltilebilmesi, daha gelişkin ve daha parlak atom lazerlerini ufkumuza taşıyor.

Helmerson, K. Giving
A Boost to Atoms, Nature, 9 Aralık 1999
Çeviri: Raşit Gürdilek