

# Boşluğu Titreştirerek Işık Üretmek

*Boşluk acaba gözlemcinin hareketine mi bağlı? Teorik hesaplara göre, boşlukta titreştirilen iki ayna arasında oluşturulan bir aralık, bir ışıma meydana getirebilir. Bu kuantumlu sonuç Einstein'ın genel görelilik kuramını gündeme getiriyor.*

**E**VRENİN herhangi bir yerinde herhangi bir madde ya da parçacığın olmaması, hiçbir şey olmayacağı anlamına gelmiyor. 1948 yılında Hollandalı araştırmacı Hendrik Casimir'in varsaydığı bu sonuca göre, boşlukta yerleştirilen iki ayna birbirlerini çok zayıf bir kuvvetle çekecektir. 1 cm<sup>2</sup>'lik bir yüzeye sahip iki aynanın 0,5 mikrometre aralıkla yerleştirildiği zaman birbirlerine etki ettirdiği bu kuvvet yaklaşık 0,2 miligramlık bir kütlemin yarattığı ağırlığa karşılık gelmektedir. Casimir etkisi 1958 yılında, başka bir Hollandalı fizikçi olan, çekim kuvvetini ve bunun plakalar arasındaki aralığa göre değişimini gözler önüne seren Marcus Sparnay tarafından sınıandı.

Peki bu Casimir etkisi nereden geliyor? Bu sorunun cevabı elektromanyetik teori ve kuantum fiziğinin yasalarının birlikteliğini gerektiriyor. Kuantum yasalarına göre, elektromanyetik alanın en küçük enerjisini hesapladığımızda, bunun sıfır olmadığını görüyoruz. Bu sonuç, elektromanyetik alanda kendiliğinden değişimler olmasıyla yorumlanabilir. Öte yandan, "boşluk" gibi yerlerde en küçük enerji değerine sahip elektromanyetik alanın değerinin ortalama sıfır olması, onun hem eksi değerinde hem de artı değerinde sıfırın etrafında sürekli olarak değişmesinden kaynaklanıyor. Tüm

evrende olan bu değişimler "sıfır noktası enerjisi" dediğimiz bir enerjinin oluşmasına neden oluyor. Görüldü ki bunun değeri sonsuz ve bu da bir zorluğu ortadan kaldırmış oluyor. Ancak fizikçiler, değeri sonsuz olsa da bunun gözlemlenemeyip sadece enerji farkının gözlemlenebileceğini söylüyorlar.

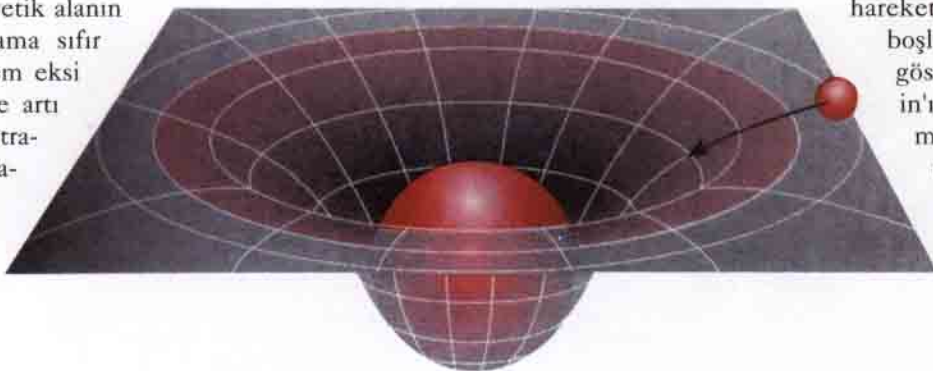
Casimir tarafından tasarlanan iki aynalı durumda, bu cisimler, varlıklarıyla elektromanyetik alanın kendiliğinden değişip durmasına neden oluyorlar. Gerçekten de, elektrik alan değerinin, elektriği çok iyi ileten bir yüzeyde (mükemmel bir aynada olduğu gibi) sıfır olması gerekir. Böylece iki ayna arasındaki aralığın içinde elektromanyetik alan sınımlarının da her iki uçta sınır değerlerine uyması gerekiyor. Bu durum iki ucundan sabit noktalarla bağlanmış bir ipe benzetilebilir; titreşimlerinin büyüklüğü bağlantı noktalarında sıfır olmalıdır, bu da olası kiplerini sınırlar. Bundan dolayı herhangi uzunluktaki bir dalgaya (ya da frekansa) kendiliğinden karşı koyan bu sınımlar, kendi dalgaboylarının ayna aralığının dalgaboyuyla uyuşup uyuşmamasına göre ya büyüyor ya da küçülüyor. İki ayna tarafından oluş-



*Hendrik B.G. Casimir 1948'de, boşluğa yerleştirilen iki metal plakanın birbirini elektromanyetik alan sınımları sonucu oluşan bir kuvvetle çekeceğini tahmin etmişti. 1909 yılında doğan bu Hollandalı fizikçi aynı zamanda süperiletkenlik üzerine de çalışmıştı.*

turulan aralığın içindeki alanın sınımları üzerindeki bu sınırlama da, aralığın enerjisini değişikliğe uğratmak gibi bir sonuç doğuruyor. Hesaplanabilen bu enerji farkı aslında Casimir çekim kuvvetinin temelidir.

Boşluk, bu sıralarda araştırmacıları şaşırtmaya devam ediyordu. 1970'li yıllarda birçok araştırmacı, hareket halindeki cisimler üzerinde, boşluğu etkileyen değişimlerin sonuçları üzerinde ilgilenmeye başladı. Sonuçlar, sabit hızda ilerleyen tek bir ayna durumunda, hareketin hiçbir şekilde boşluğu bozmadığını gösterdi. Einstein'ın görelilik kuramına tamamen uygun bir sonuç; değişmez bir hal olan boşluk, göz-



lemci ister hareketsiz olsun ister sabit hızda ilerlesin, değişmemiş bir şekilde kalır.

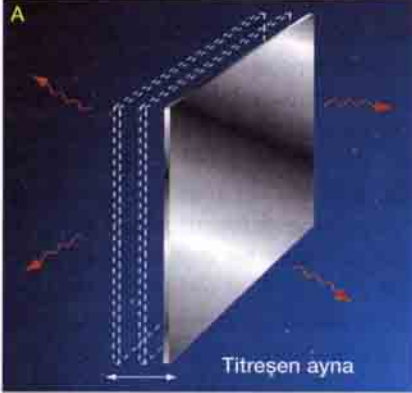
İvmeli hareketlerin hesaba katılmasıyla işler tuhaf bir şekilde karmaşık hale geldi. Örneğin 1968'de ünlü fizikçi Andrej Sakharov'un önerisine göre kütleçekimi, boşluğun salınıp durmasından kaynaklanan bir etki olabilirdi. Bundan esinlenerek Rus bilim adamları Yaakov Zel'dovich ve Lev Pitaevskii 1971 yılında, uzay-zaman eğrisinin varlığıyla (yani genel görelilik kuramına uygun bir kütleçekim alanıyla), boşluğun değişikliğe uğradığını gösterdiler. İngiliz astrofizikçi Stephen Hawking, karadeliğin boşluk salınımlarının ışık yaydığı sonucuna vardı.

Kanadalı fizikçi William Unruh 1976 yılında, karadeliğin ışıması için bir model ararken, sabit bir ivme ile hareket eden bir gözlemci tarafından bakıldığında, boşluk değişimlerinin ısı değişimleri olarak görüleceğini varsaydı. Diğer bir deyişle, böyle bir gözlemciye göre boşluk, sıcaklığı mutlak sıfırdan farklı bir dereceye ısıtılmış bir fırının içine karşılık geliyor. Buna karşılık, aynı dönemlerde, Avustralyalı Paul Davies ve Stephen Fulling, boşluktaki bir aynanın hareketiyle oluşacak ışımayı hesapladılar ve ivme sabit olduğunda (büyüklüğü ve yönü bakımından) ışımanın gerçekleşmeyeceği sonucuna vardılar.

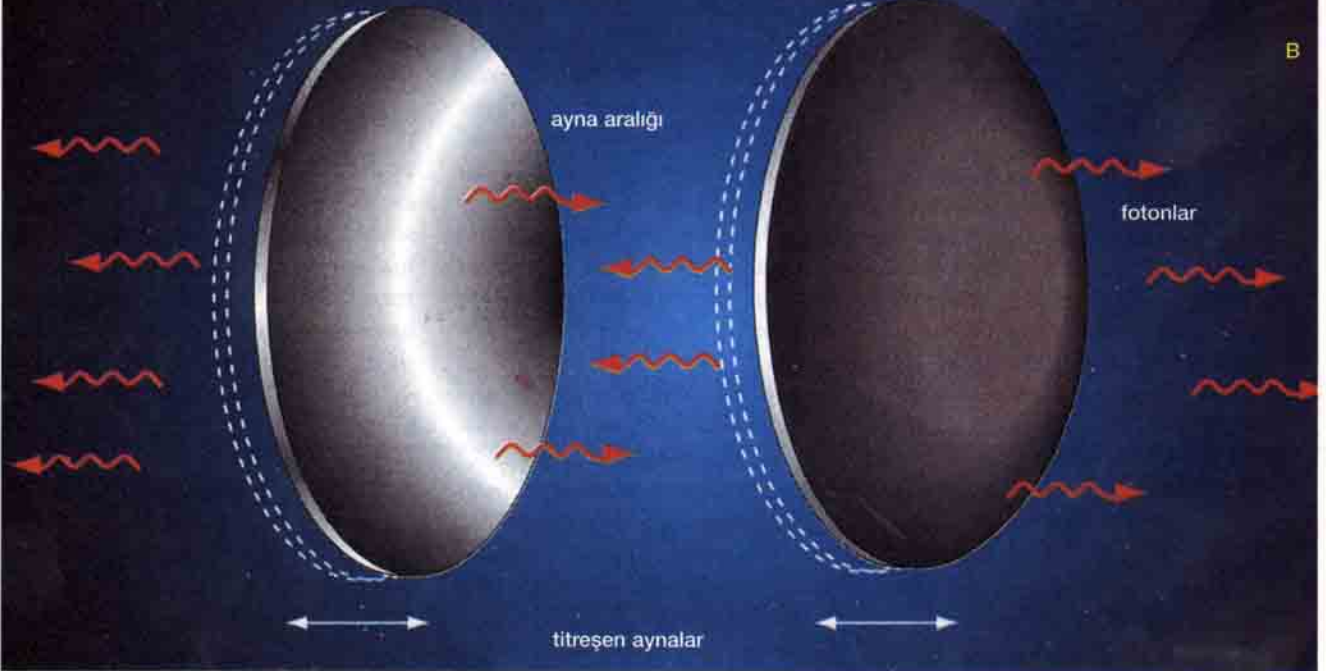
Davies ve Fulling'in sonuçları, Unruh'un sonuçlarıyla uyumuyordu; bu çelişki günümüzde bile fizikçiler arasında tartışmalara neden oluyor. Ne olursa olsun, bizi burada ilgilendiren, aynanın sabit olmayan bir ivmeye sahip olma durumudur (örneğin aynayı titreştirerek oluşturulan durum). Öngörülen sonuçlar en az Casimir etkisinin açıklanması kadar şaşırtıcıdır. Davies ve Fulling'in hesaplarına göre boşlukta fotonların yayılması gerekir. Bu aşamada sorulacak soru, yayılan enerjinin nereden



*Kütleçekimin boşluğun salınıp durmasından kaynaklanan bir etki olabileceğini söyleyen Andrei Sakharov, Sovyet hidrojen bombasının babası olarak da biliniyor.*



## İŞIĞA DÖNÜŞEN HAREKET



1976 yılına doğru yapılan hesaplar, boşluktaki bir aynanın foton ışıması yapacağını gösterdi (A). Bu ışıma, çok zayıf olmakla beraber esas iki ayna tarafından oluşturulan aralık durumunda ortaya çıktı (B). Eğer bir nanometre büyüklüğünde bir milyar hertz'lik bir frekansta, kusursuz iki ayna birlikteliğini titreştirirsek, saniyede yaklaşık on civarında foton aralık dışına ışıyacaktır. Böyle bir ışımanın saptanması, fotonların meydana geldiği boşluğun sabit olmayan ivmelere karşı farklı davrandığını kanıtlayacaktır.

Aynanın hareketinden kaynaklanan ışığa çok zayıf olduğundan, saptanacak sayıda foton yaratmak için çok şiddetli ivme değişimleri oluşturmak gerekir. Bu yayılmanın gözlemlenmesi pek gerçekçi görünmüyor. Oysa bu olay görelî ve mutlak hareket kavramları hakkında önemli ve hassas soruları gündeme getiriyor. Öyle görünüyor ki boşluk, ivmesi sabit olmayan bir hareketin farkına varıyor, ancak öte yandan sabit ivmeli bir hareket göze çarpmadan geçiyor. Şu halde boşluk bazı hareketleri diğerlerine göre daha fazla tercih ederek, tercihi referanslar tanımıyor. Bu da Einstein'ın, "her hareket görelîdir" diyen görelîlik kavramına ters düşüyormuş gibi görünüyor.

Değişen ivmeli bir hareketin oluşturacağı ışımayı algılama düşüncesi, boşluğun kuantumlanması ile genel görelîlik arasında doğrudan bir ilişki kurduğu için çok ilginç bir bakış açıdır. Nasıl daha gerçekçi bir deneysel durum verilebilir? Boşlukta tek bir ayna yerine, titreşen iki aynanın arasındaki ara bölgeyi düşünebiliriz. Bu durum optik rezonans ile açıklanır. Aynalar arasında gidip gelen ve uzunluğu ara bölgenin uzunluğuna uyumlu olan dalgaların şiddeti büyürken, diğer dalgaboyları sönüme gidecektir.

Sabit olmayan ivmeli harekete sahip ayna aralığında toplanmış enerjiyle ilgili birçok hesap, geçmişte özellikle Davies ve Fulling tarafından yapıldı. Bu hesaplar için kusursuz yansıtan aynalar kullanıldığı farzedildi. Oluşturdukları aralık tamamen kapalı bir sistem gibi düşünülebilir. Bu durumda meydana gelen fotonlar bir aynadan diğer bir aynaya giderken dışarıya kaçamazlar (burada bir aynadan diğerine yayılan fotonlarla ilgileniyoruz, yani esas olarak ayna aralığıyla etkileşim halinde olanlarla). Oysa bu kadar mükemmel aynalar gerçekte yok. Öte yandan, kavramsal birtakım zorluklar da var: Kaybın olmadığı bir durumda biriken fotonlar zamanla sonsuz büyüklüğe ulaşacaktır.

Bir aralığın titreşimiyle meydana gelen ışımayı saptamak: zor bir deney ama gerçekleşmesi olanaksız değil. Son günlerde, Marc Thierry



*Karadelîğin boşluk salınımlarının ışık yaydığı sonucuna varan Stephen Hawking, 1974 yılında karadeliklerin ışıldığını bulmasıyla uluslararası üne kavuştu. Hawking, "Zamanın Kısa Tarihi" adlı kitabıyla ülkemizde de tanınıyor.*

Jaecel, Serge Reynaud ve Astrid Lambrecht, geçirgenliği sıfır olmasa da çok düşük olan gerçek aynalar üzerinde hesaplamalar yaptılar. Bu, özellikle "kip" (Kip burada fotonun aynalararası gidip gelme sayısını -aynaların birinden geçmeden önce gösteriyor. Tabii bu aynaların yansıtma gücüne bağlı) etkisini nicel olarak değerlendirmeyi sağlar. Boşlukta titreştirilen tek bir ayna durumuna kıyasla iki aynanın hareketi nedeniyle oluşan foton akışı aralığın kip katsayısı ile büyüyebilir. Bu arada yalnızca büyüme olmaz. Aynaların titreşim frekansları, aralığın rezonans frekansının tam katı olduğu zaman, ışımanın önemli bir kısmı bazı ışık frekanslarında toplanır ki bunlar aynı zamanda rezonans frekansının katlarıdır.

Aralığın hareketiyle oluşan ışımayı nasıl anlayabiliriz? Bunun deneyi zor, ama imkânsız olmayacaktır. Süperiletken aynalardan oluşan bir aralığın kullanıldığını düşünebiliriz ki, bu şekilde yüksek yansıtma gücünde ve  $10^9$  mertebesinde bir incelik sağlayabiliriz. Eğer bu aralığı 1 nanometre büyüklüğünde, 1 gigahertz frekansıyla titreştirebilirsek -gerçek dışı olmayan değerler- aynalar arasında, zayıf olmakla beraber, saniyede on fotonluk bir akı yerine

bunu ölçebiliriz. Aynı zamanda bu aralıktan, çok uyarılmış atomları (Rydberg atomları) geçirmeyi düşünebiliriz. Bu atomlar elektromanyetik alanlara karşı çok hassas olduklarından, aralıktan çıkışlarındaki uyarılma durumlarını ölçerek aralığın içerisindeki fotonların sayısı hakkında bilgi sahibi olabiliriz.

Lambrecht, bazı önlemler alınmasının gerekeceğini söylüyor. Isıl hareketlerden dolayı oluşan ışımlar nedeniyle meydana gelebilecek katkıları yok etmek için, deneyler çok düşük sıcaklıkta (birkaç on milikelvin derecesinde) gerçekleştirilmelidir. Gerekli olan bu teknikler, günümüzde ustalıklı uygulanmaktadır. Bu şekilde, optik rezonansın büyütülmesi sayesinde, titreşim nedeniyle oluşan ışımanın saptanması ilk defa mümkün görünüyor. Geriye sadece deneyin yapılması kalıyor.

Kavramsal kapsamın daha iyi anlaşılması için dikkat etmemiz gereken, aynaların titreştiği bir durumda, aralarındaki mesafe sabit kalacak şekilde titreşimlerin aynı fazda olması. Oysa bu durumda dahi bir ışıma bekleyebiliriz. Bu, şu şekilde anlaşılabilir: İki aynanın hareketi sırasında, elektromanyetik alan aralık içinde yayılmaya devam ediyor. Her ne kadar geometrik uzunluğu sabit kalsa da, alan referans çerçevesinden bakıldığında aralığın uzunluğu periyodik olarak değişiyor. Buna rağmen, fotonların yayılması bu durumda çelişkili görünüyor; aralık boşlukta hareket ediyor ve bu hareketin boşluk dışında hiçbir referansı yok. Tek aynada olduğu gibi, boşluk sanki, sabit olmayan ivmeli hareketlerle, sabit hızlı ya da ivmeli hareketler arasında bir ayırım gözetiyor.

Oysa, Einstein'ın genel görelîlik kuramına göre ayrıcalığı olan hiçbir referans sistemi yoktur; fizik yasaları, gözlemcinin hareketi ne olursa olsun hep aynıdır. Boşluğun kuantumsal özellikleri bu ilkede bir gedik oluşturuyor; bu da kuantum fiziği ile genel görelîlik kuramı arasındaki bağın sorgulanmasına yol açıyor.

A. Lambrecht,  
"Secouer Le Vide Pour Créer de La Lumière"  
La Recherche, Şubat 1997  
Çeviri: Alkım Özyaygen