

Çift Kimlikli Işık

Asırlar boyunca insanoğlu ışığın gizemini çözmeye çalıştı. Antik Çağlarda görme olayının insan gözünden bir çeşit ışın çıkması ile gerçekleştiği düşünülüyordu. Arap bilim insanları daha 10. yüzyılda Batlamyus'a kadar uzanan bu fikrin yanlış olduğunu göstermişti. Batıda Alhazen olarak bilinen İbn-i Heysem'e göre eğer gözden ışın çıkıyor olsaydı insanların karanlıkta da görebilmesi gerekirdi. İbn-i Heysem optik konusunda kontrollü deneyler yaparak optik biliminin temellerini oluşturdu. Müslüman bilim insanları atmosferin kalınlığını Güneş'ten gelen ışığın kırılmasından yola çıkarak hesaplayacak kadar bilgiliydi. Fakat ışığın kendisinin ne olduğuna dair dişe dokunur bir kuram geliştirememişlerdi.



Daha sonraki yüzyıllarda Avrupada ışıkla ilgili çalışmalar pek çok spekülasyonun gölgesinde yapılmaya başlandı. Işık genel olarak iki ana kavram ile açıklanmaya çalışılıyordu. Birincisi Newton'un öncülük ettiği görüş olan, ışığın taneciklerden oluştuğu fikriydi. Newton ışığın yansıması, doğrusal yol izlemesi gibi gözlemsel verilere dayanarak ışığın parçacık yapılı olduğunu iddia ediyordu. İkincisi ise 17. yüzyılın sonlarında Huygens'in başı çektiği dalga görüşüydü. Işığın uzayı doldurduğu düşünülen esir adlı bir tür üst maddenin titreşimlerinden oluştuğu fikri hâkimdi. Kısacası, ışık bir çeşit dalgaydı.

Evreni doldurduğu sanılan ve maddenin özü (*materia prima*) olarak kabul edilen esir fikrini Avrupalı bilim insanları Antik Çağ Yunan filozoflarından ödünç almıştı. Kadim bilginlerin epeyce kafa yordduğu esir ateş, toprak, hava ve sudan sonra beşinci element olarak kabul ediliyor, diğer dört elementten farklı bir konumda değerlendiriliyordu. Bu kavram hem Doğulu, hem Batılı düşünürlerin eserlerinde yer bulmuş, Newton devri İngiltere'sine kadar uzanmış ve modern bilimin temellerini atan insanların da evren hakkındaki felsefi görüşlerini etkilemişti.

Işıkla ilgili gözlemler sonucunda -kırılma, saçılma, girişim deneyleri oluşturma gibi özelliklerinden dolayı- ışığın parçacıktan çok dalga yapısında olduğu anlaşıyordu. Bilim insanları için esir kavramıyla ışığın dalga olmasını özdeşleştirmek, o gün için kaçınılmaz bir sonuçtu. Çünkü eğer ışık bir dalga ise, uzayı dolduran bir “şeyi” dalgalandırması gerekiyordu ve o “şey” olmaya en uygun aday da esirdi.

Işığın dalga olduğunu gösteren en bilindik deney Young deneyidir. 1801 yılında Thomas Young, ışığın dalga olup olmadığını anlamak için harika bir deney tasarladı. Deneyde belirli bir renkteki ışık, birbirine çok yakın, son derece minik iki deliğe gönderilir. Bu iki delikten geçen ışık huzmeleri saçılarak ilerler ve karşıdaki bir ekrana ulaşır. Önce, her deliğin karşısında bir aydınlık alan oluşmasını bekleriz. Fakat iki delikten sızan ışık, beklenenin aksine ekran üzerinde iki alan aydınlatmaz, bunun yerine aydınlık ve karanlık saçaklar oluşur. Bunun sebebi, deliklerden çıkan ışınların dalgalar halinde ilerlemesidir. Yani iki ayrı kaynaktan gelen ışınlar dalgalar halinde ilerledikleri için, bir ışık dalgasının tepe noktasıyla diğer ışık dalgasının çukur noktasının üst üste geldiği yer ekranda karanlık görünür. Çünkü tepe ve çukur noktalar birbirlerini sıfırlamıştır. İki tepe veya iki çukur noktasının üst üste geldiği bölgeler ise aydınlık görünür. Fizikçiler bu deneydeki olguyu iki delikten çıkan ışın demetlerinin girişimi olarak adlandırır. Young deneyi, ışığın dalga mı yoksa parçacık mı olduğu sorusuna kesin bir nokta koydu ve ışığın dalga yapısını tescilledi. Hatta bu deneyle belirli bir renkteki ışığın dalga boyunu belirlemek de mümkün oldu.

Uzunca bir süre ışığın dalga olduğundan ve esir diye bir şeyin içinde ilerlediğinden kuşku duyulmadı, ta ki 19. yüzyılın sonlarına gelene kadar. Bilim tarihinin altın devirlerinden sayabileceğimiz

bu dönemde fizikçiler çok cesur sorular soruyor ve bu sorulara cevap bulmak için dâhice deney düzenekleri kurguluyordu. Bu sorulardan biri de esirin var olup olmadığı idi. Eğer ışık esir gibi bir ortamın içinde ilerliyorsa ve Dünya da uzayı dolduran bu esirde yol alıyorsa, Dünya dönerken ışığın hızının değiştiğini algılamalıydık. Tıpkı bir nehirde akıntı yönünde giden bir gemiyle, akıntının aksi yönünde giden bir geminin aynı motor kuvvetiyle hareket etmelerine rağmen dışarıdan bakan gözlemciye farklı hızlarda gidiyor görünmesi gibi. Işık esir içinde ilerlerken, Dünya'nın hareketi nedeniyle ışığın hızının da değişmesi gerekirdi. Michelson ve Morley adlı iki fizikçi kusursuz bir deney düzeni hazırladı. Dünya Güneş etrafında dönerken, kendi eksenini etrafında da döner. Bu iki hareket günün yarısında aynı yönde ise diğer yarısında zıt yöndedir. Aradaki farktan yararlanarak esir maddesinin ışık hızına etkisini ölçeceklerdi. Ancak hiç ummadıkları bir sonuçla karşılaştılar. Deneyi nasıl yaparlarsa yapsınlar ışık hızında en ufak bir değişim gözlemleyemediler. Deney daha sonraki yıllarda çok daha hassas düzeneklerle de tekrarlandı. Işığın hızı her şekilde sabit çıkıyordu. Michelson-Morley deneyi esirin varlığını ispatlamak için tasarlanmış bir deney olarak, bilim tarihine “başarısızlıkla” sonuçlanan en meşhur deney olarak geçti. Zira esir diye bir şeyin varlığına işaret eden hiçbir kanıt yoktu.

1846'da, tarihin gördüğü en iyi deneycilerden biri olan Michael Faraday elektrik alan ile manyetik alanın aslında aynı fiziksel gerçeğin iki farklı yansıması olduğunu gösteren harika deneyler yaptı. Böylece elektromanyetizma doğdu. Elektromanyetik kuramın sağlam bir matematiksel temele oturmasını sağlayan ise James Clerk Maxwell oldu. Maxwell, kurguladığı denklemlerle elektromanyetik dalgaların doğada nasıl davrandığını mükemmel bir şekilde açıkladı. Bunu yaparken olağanüstü bir şey fark etmişti:



Elektromanyetik dalgaların yayılma hızının ışık hızıyla tam olarak aynı olduğunu. Bunun tek bir anlamı olabilirdi, ışık bir elektromanyetik dalgaydı.

Işık, uzayda ilerleyen elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin değişmesiyle oluşan elektromanyetik alan titreşimlerinden ibaretti. Yıllar geçtikçe ışık üzerindeki sır perdesi aralanıyordu. Işığın ne olduğu artık tam olarak biliniyor, kimse ne esirden ne de ışığın esir içindeki elektromanyetik alan dalgalanması olduğundan kuşku duymuyordu. Tüm kuramlar bu temel üzerine oluşturuluyor, çalışmalar ışığın hızının neden sabit olduğunu açıklamak üzerine yapılıyordu. Lorentz, Larmor, Poincaré gibi matematiğin altın çocukları hep bu varsayımlar üzerine kafa yoruyordu. Ancak huzur bozucu bir istisna hep var olagelmıştır.

1887'de Heinrich Hertz yüksek voltaj verilmiş iki metal arasında oluşan kıvılcımları inceliyordu. Metalleri morötesi ışına maruz bırakınca kıvılcım atmalarının uzadığını fark etti. Daha uzun kıvılcımlar üretmek için mor ötesi ışık kullanılabiliyordu. Işığın elektrik akımını etkilediğini gösteren bu deney, 1899'da J. J. Thomson'un elektronu keşfetmesiyle daha ilgi çekici bir hal aldı. Çünkü elektrik akımı denilen şey, tam olarak elektron adlı parçacıklardan oluşuyordu.

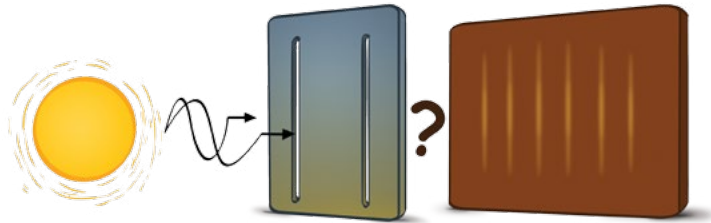
Artık fizikçiler metal bir yüzeyden elektron koparmak için ışığın kullanılabileceğini biliyordu. Maxwell'in denklemlerine göre, daha yüksek enerjili elektron koparmak için daha şiddetli ışık kullanılmalıydı. Çünkü ışığın dalga kuramı olan Maxwell denklemleri, metalden kopan elektronların enerjisinin, metale gönderilen ışığın şiddetiyle doğru orantılı olması gerektiğini öngörüyordu. Ancak yapılan deneylerde ışığın şiddetinin artırılması sadece kopan elektronların sayısını artırıyor. Ama ışık şiddeti ne kadar artırılırsa artırılсын, metalden kopan elektronların enerjisi artmıyordu. Bu sonuç tam bir baş belasıydı.

1902'de Philipp Lenard yaptığı deneylerde metalden kopan elektronun enerjisi ile gönderilen ışığın frekansı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu fark etti. Frekans, elektromanyetik dalganın bir saniyedeki titreşim sayısıdır ve ışığın rengini belirleyen özelliktir. Sözelimi bir metale kırmızı ışık gönderilince düşük enerjili elektronlar elde edilirken, mavi ışık gönderildiğinde yüksek enerjili elektronlar elde ediliyordu. Çünkü kırmızı ışık düşük frekanslı, mavi ışık yüksek frekanslı elektromanyetik dalgadır. Çok şiddetli bir kırmızı ışıkla metalden bir tane bile yüksek enerjili elektron koparılamıyordu. Fakat çok zayıf bir mavi ışık bile yüksek enerjili elektron elde etmeye yetiyordu. Fizik dünyasında işler gerçekten çok karışmıştı. Belki de o güne kadar en sağlam fiziksel başarı olan ışığın dalga kuramı, Lenard etkisi denen bu olayla sarsılmıştı. Kimse işin içinden çıkamıyor, deney hangi şartlarda tekrar edilirse edilsin, kopan elektronların enerjisi metale gönderilen ışığın şiddetiyle değil frekansı ile orantılı oluyordu.

1905'te fizik dünyasında hiç tanınmayan bir adam art arda yazdığı makalelerle adeta bir kurtarıcı rolüne bürünmüştü. Yazdığı makalelerden biri bu durumu açıklığa kavuşturdu. Albert Einstein, fotoelektrik etki adını verdiği bu olayda ışığın yapısını yeniden sorguluyor ve fizikçilerin inançlarını derinden sarsıyordu.

Einstein'a göre metale gönderilen ışık, foton adını verdiği parçacıklardan oluşuyordu. Foton kuramı ışığın uzayda ilerleyen bir dalgadan ziyade, kesikli dalga paketçiklerinden oluştuğunu söyler. Einstein bu fikri Max Planck'ın 1900'de yaptığı bir sunuma dayandırmış ve onun kuantum fikrini kullanmıştı. Onlara göre bir ışık parçacığının enerjisi, sahip olduğu frekans ile belirli bir sabitin çarpımına eşitti. Bahsedilen sabit daha sonraları Planck sabiti olarak adlandırıldı. Bu açıklama ile Einstein bir anlamda kuantum çağını başlatmış oldu. Robert Millikan 1914'te elektronun elektrik yükünü bulduğu meşhur deneyini, Einstein'ın bu kuramı üzerine bina etmişti. Sonuçta 1918'de kuantum fikriyle Planck, 1921'de fotoelektrik etki açıklamasıyla Einstein, 1923'te de elektronun yükünü keşfiyle Millikan Fizik Nobel'ine layık görüldü.

Fotoelektrik etki kuramı ile metallerden kopan elektron enerjisinin, ışığın frekansına nasıl bağlı olduğu açıklanmış oldu. Böylece Maxwell'e ait ışığın dalga kuramı zarar görmeden paçayı kurtarmıştı. Fakat bu sefer daha büyük bir sorun çıktı. Asırlar sonra Newton'un ışık için ortaya attığı iddia tekrar dirilivermişti. Işık gerçekten de parçacıklardan oluşuyordu. Peki ama ışık nasıl oluyor da hem dalga, hem de parçacık oluyordu? Eğer ışık parçacıklardan oluşuyor olsaydı iki ışın demetinin birbiri içinden geçerken birbirlerini etkilemesi, ışık parçacıklarının çarpışması gerekmez miydi? Ama iki su dalgasının birbirlerini hiç etkilemeden geçip gitmesi gibi, ışın demetleri de birbirlerinden hiç etkilenmiyordu. Demek ki *Yıldız Savaşları* filmlerindeki ışın kılıçları gerçekte hiç var olamaz.



Ortada son derece ilginç bir durum vardı. Bir yanda ışığın apaçık dalga olduğunu gösteren Young deneyi ve Maxwell'in bunun üzerine bina ettiği ışığın dalga kuramı; diğer yanda ışığın parçacık olduğunu gösteren fotoelektrik etki ve Einstein'ın foton kuramı. Her ikisi de hem deneysel, hem kuramsal olarak inanılmaz güçlü ve doğrudur. Işık bizimle dalga geçiyor olmalıydı. Deney düzeneği ışığın dalga olduğunu görmek için tasarlanırsa dalga, parçacık olduğunu görmek için tasarlanırsa parçacık olarak görünüyordu. Bu duruma fizikçiler ışığın parçacık-dalga ikilemi adını verdi ve ışığın çift kimlikli doğasını öylece kabul ettiler. Belki ki doğa ona nasıl baktığımıza göre farklı görünebiliyordu. Tıpkı bir silindiri iki boyutlu bir uzaydan gözlemlemek istersek bir açıdan baktığımızda daire, diğer açıdan baktığımızda dikdörtgen görmemiz gibi. İçinde yaşadığımız anlık bir zaman dilimiyle sınırlı üç boyutlu evrenimizden ışığı anlamak istediğimizde, nasıl baktığımıza bağlı olarak ışık bize farklı görünüyor. Keşke doğanın bu çetrefilli oyunu sadece ışık için geçerli olmakla kalsaydı...

Young deneyini tekrar hatırlayalım. Çift yarıktan oluşan bir engele bu sefer dalga değil de parçacıklar gönderdiğimizi düşünelim. Atılan her parçacık ya iki yarıktan birinden geçerek karşıdaki ekrana ulaşacak ya da engele takılacak ve ekrana ulaşamayacaktır. Sonuçta ekranda iki iz görünecektir, her bir yarıktan geçen parçacıkların, yarıkların izdüşümünde oluşturduğu iki iz. Young deneyi, parçacık olduğundan asla şüphe edilmeyen elektronlarla yapılırsa sonuç ne olurdu?

1961'de Claus Jönsson, Young deneyini ışık yerine elektron kullanarak yapmayı başardı. Sonuç gerçekten inanılmazdı. Çünkü ekranda elektronların bıraktığı izler parçacıkların bırakacağı izlere benzeriyordu. Tıpkı ışıktaki olduğu gibi, elektronlar da ekranda saçaklar oluşturmuştu. Oysa elektronlar parçacık oldukları için iki delikten birinden geçmek zorundaydı. İki ayrı delikten geçip giden iki elektron asla birbirini etkilememeli ve kendi ilerledikleri doğrultuda ekrana çarparak iki farklı bölgede iz bırakmalıydı. Hâlbuki ışık dalgaları gibi bir şekilde birbirlerinden etkileniyor, girişim yapıyor ve dalga saçakları şeklinde iz bırakıyorlardı. Fizikçiler deneyi bir adım ileri taşıdı ve elektronların birbirinden etkilenmesini önlemek amacıyla elektronları tek tek göndermeye başladılar. Elektron iki delikten herhangi birinden geçip ekrana çarpıyordu. Uzunca bir süre beklenirse tek tek gönderilen elektronlar iki deliğin ekrandaki uzantısında, iki ayrı bölgede iz bırakmış olacaktı. Ama öyle olmadı. Elektronlar tıpkı ışık dalgalarının bıraktığı izler gibi saçaklar oluşturmaya devam etti. Bu gerçekten inanılmaz bir olaydı.



Çünkü tek bir elektron dahi kendi kendiyile girişim yapıyor ve tek başına bir dalga gibi davranıyor. Tek bir elektronun kendiyile girişim yapabilmesi için iki delikten birden aynı anda geçmesi gerekir. Bunun mümkün olmadığı çok açık. Öyleyse bu durum ancak elektronun ilerlerken parçacık olarak değil, uzaya dağılmış bir dalga olarak ilerlemesi ile açıklanabilir.

Deney daha büyük parçacıklarla, atomlarla, hatta moleküllerle tekrarlandı. Sonuç hiç değişmedi. Öyle ki, 60 karbon atomundan oluşan ve bir protondan beş yüz bin kat daha büyük olan “buckyball” adlı moleküllerle bile deney tekrarlandığında girişim saçakları gözlemlendi. Moleküler ölçekte her şey dalga gibi davranıyordu. Her parçacık aynı zamanda bir dalgaydı.

Young deneyinde parçacıkların veya ışığın hangi delikten geçtiğini tespit etmek üzere deliklere birer algıç konunca, ekrandaki girişim saçakları kaybolur. Çünkü algıç delikten geçen şeyi algıladığında o şeyi “parçacık” olarak yakalamıştır. Ama gözlemlemeden ekrana düşmesine izin verildiğinde parçacıkların tekrar girişim saçakları oluşturduğu görülür. Bu, doğanın bize oynadığı muzipçe bir oyundur. Parçacıkların izlediği yol bizim için tamamen bilinmez olmalıdır. Yolu izlersek parçacık asla dalga gibi davranmaz. Diyelim ki deliklere gönderdiğimiz elektronların deliklerden geçip gitmesine izin verdik. Ama ekrana çarpmadan hemen önce deliklerden birini kapadık. Bu durumda doğa yine bizi şaşırtır ve ekranda görünen iz saçak değil, tek bir delikten geçen parçacıkların izi olur. Yani elektron yolda ilerlerken bizim deney düzeneğine müdahale etmemizin ardından dalga gibi değil de parçacık gibi davranmaya karar veriyor! Bir anlamda, geçmiş gelecekte etkilenmiş oluyor.

Tüm bu süreç bize ışığın ve atom ölçeğinde hiçbir şeyin kesin bir şekilde tarif edilemeyeceğini öğretti. Bizim içinde bulunduğumuz şartlar ile kuantum dünyasının şartlarının anlaşılabilir derecede farklı olduğunu gördük. Kulağa ne kadar inanılmaz gelse de ışık hem dalga, hem parçacıktır. Onu nasıl görmek istersek öyledir. Doğa, gözlemcilerin varlığından bağımsız değildir!

Çizim: Ersan Yağız

Kaynaklar

- Ocak, M. E., “Bakmadan Gören Kamera”, *Bilim ve Teknik*, Kasım 2014.
- Young, T., “A Course of Lectures on Natural Philosophy and Mechanical Arts” <http://www.biodiversitylibrary.org/item/63005#page/11/mode/1up>
- Jönsson, C., “Electron Diffraction at Multiple Slits”, *American Journal of Physics*, Cilt 42, 1974.
- Wheaton, B. R., “Philipp Lenard and the Photoelectric Effect, 1889-1911”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, Cilt 9, 1978.
- Kelley, D. H., Milone, E. F., *Exploring Ancient Skies: An Encyclopedic Survey of Archaeoastronomy*, Springer, 2005.

