

Newton'la ışık bilimsel yönden bir gelenek kazanmıştır, yeni gelişmeler bu gelenekte de kaydedilmeye başlanmıştır. Fakat daha ileri gittiler ve ışık titreşimlerinin ve ışığın «dalga» olarak niteliğini ortaya çıkardılar.

# IŞIK

İnsanların ışığın niteliği hakkındaki esas görüşleri son üç yüzyıl içinde birkaç kere değişmiştir. «Işık nedir?» sorusuna her defasında verilen cevap, fizikçinin kafasında, evrenin niteliği ve şekli hakkında çizdiği hayalde gittikçe daha büyük ve önemli bir rol oynamıştır.

İsaac Newton (1704 te basılan Opticks adlı eserinde) ışığı ufak taneciklerden, zerrelerden, meydana gelen bir akım olarak tanımladı, kısmen buna sebep olarak onun «doğru bir çizgi halinde yol aldığı» ileri sürdü. Renk olaylarına ait cam levhalarla (Newton halkaları) yaptığı deneylerden de ışık demetlerinin dalgalarla ilgili bazı vasıflara sahip olmaları gerektiği sonucunu çıkardı. Bu vasıflara o «kolay yansıma ve kolay iletme» durumları adını vermişti. Herhangi bir hipotez ortaya atılmadan çekinerek daha ileri gitmek de istememişti. Fakat onun otoritesi o kadar büyük ve zorlayıcı idi ki, ışığın çok ufak taneciklerden, meydana geldiği teorisi bir asır kadar ön plâni işgal etti, hatta onun izdüşürleri bu görüşlerinde Newton'dan daha fazla inatçılık gösterdiler.

19 ncü yüzyılın başlarında, daha 17 ci yüzyılda Christiaan Huygens tarafından ışığın dalgalardan meydana geldiği şeklinde ortaya atılmış olan görüş birden güç kazandı. Londra'da bir fizikçi olan Thomas Young'un 1803 yılında yaptığı bir deney bu konuda kesin bir rol oynadı. İki iğne deliğinden geçirilen tek renkli «monochromatic» bir ışık demeti, «su dalgaları ve ses titreşimlerinde» görülen ve tamamiyle onlara benzeyen bir girişim kalıbı meydana getirdi. Hemen hemen bu sıralarda Augustin Jean Fresnel ve Dominique François Arago, Huygens'in yapmış olduğu bir deneyin tam ve doğru bir açıklaması ile ortaya çıktılar. Onlar Huygens'in Kalsiyum Karbonat kristallerinden teşekkül etmiş bloklardan geçirdiği ışığın polarize olduğunu ve bundan dolayı da Huygens'in sandığı gibi ışık dalgalarının

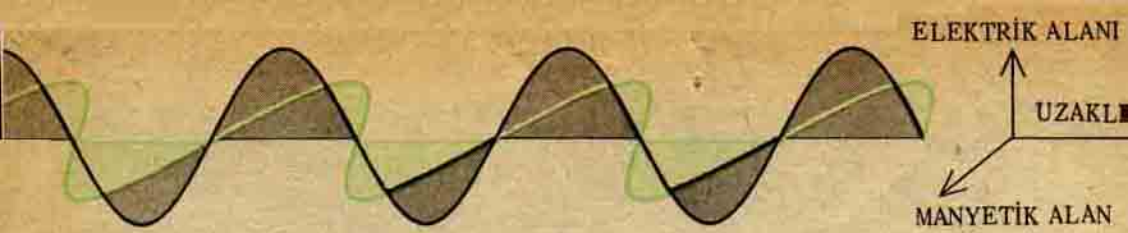
Dr. Gerald Feinberg

uzunlaşmasına giden sıkıştırılmış (compression) dalgalar olamayacağını, fakat onların yol aldıkları yöne dik olarak titreşen enine dalgalar olması gerektiğini gösterdiler.

Işığın dalga niteliğinin bu şekilde açıklanması, aynı yüzyılın sonuna doğru James Clerk Maxwell tarafından ortaya atılan ışığın elektromanyetik teorisine de pek güzel uyuyordu. Maxwell'in denklemlerinde ışık, yüklü bir zerreinin etrafını kaplayan elektromanyetik alandaki hızlı bir değişiklik olarak izah ediliyordu, alandaki bu değişiklikler de zerrelerin salınmasından ileri geliyordu.

Böyle değişen bir alan olarak ışık da 19 ncü yüzyılda keşf edilen başka daha birçok ışın enerjisi şekillerinin yanında yer alıyordu. Elektromanyetik ışığın türleri —görünen ışık spektrumunun bir tarafındaki radyo dalgaları ve öteki tarafındaki Röntgen (x) ışınları— alanın muhtelif değişim hızlarına tekabül etmektedir. Böylece Maxwell'in teorisine göre ışık, tabiiatta tek başına bağımsız bir unsur olarak ortaya çıkmıyor ve daha fazla elektromanyetizm denilen temel fenomenin (fiziksel olayın) bir safhası, bir parçası niteliğini kazanıyordu.

Asrımızın fizik alanındaki önemli gelişmeleri bu eski dalga-zerre tartışmasını yeniden ortaya çıkardı ve nihayet bir çözüm buldu. Işığın elektromanyetizmle ilişkisi yürürlükte kalıyor, fakat bu bağlantının anlaşılabilir şekli değişiyordu. Girişim ve polarizasyon gibi bilhassa ışıkta bu kadar iyi bir surette gösterilebilen dalgalara özgü niteliklerin uygun şartlar altında maddenin, elektronlar gibi, atomaltı bileşiklerinde de görüldüğü tespit edilmişti. Bunun tam tersine olarak ışığın, madde ile olan karşılıklı etkilerinde, foton adı verilen birçok ayrı cisimlerden meydana gelmiş gibi davrandığı ve bunların enerji ve moment gibi zerre özellikleri taşıdıkları da ortaya çıkarılmıştır.



### Elektromanyetik Dalgalar :

Işık dalgaları da dahil olmak üzere elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır : elektrik ve manyetik alanların her ikisi de yol aldıkları yöne diktirler. Bu resim her hangi belirli bir anda iki alanı gösteren bir grafiğin perspektif görünüşüdür. (Elektrik alanı düşey, manyetik alan yatay). Işımanın şiddeti (örneğin ışığın) elektrik alanının zirve amplitüdünün karesi ile değişmekte ve alandaki fotonların sayısıyla orantılı bulunmaktadır. Işığın rengi dalga uzunluğuna tabidir.

Bu gelişmelerin bir sonucu olarak çoğu fizikçi-ler bugün «Işık nedir?» sorusuna Newtonun cevap vereceği şekilde «Işık maddenin özel bir türüdür» diye cevap veriyorlar. Işıkla hacmi olan bir maddenin arasındaki farkların onları teşkil eden zerrelerin arasındaki nispeten önemsiz farklardan ileri geldiği düşünülmektedir. Her iki türün bütün türlerin zerreleri de dalga nitelikleri göstermektedirler.

Bu anlayışın çoğu, tabii olarak, ışık vasıtasıyla elde edilmiştir. Bilginler ışığın analizinin «evrenin homojenliğine olan inancımızın en iyi delilini sağlamaktadır» kanısındadırlar. Çevremizdeki dünya ile aramızdaki en önemli bağ görme kabiliyetimizdir. Gerçekten hayatın kendisi de görünen spektrumdaki ışın enerjisinin bir görüntüsüdür, ışık hayatı oluşturur, büyümeyi yönlendir ve onu emen (absorbe eden) özel molekülleri atkileyerek tabiat-taki bazı davranışlara sebep olur. Bu görüşlerin ortaya atılması ve ışık konusundaki bu makalenin yazılma fırsatını, Işık Biliminin klâsik disiplininin hiç beklenmedik ayrılığı sağlamıştır ki bu, elektronların titreşiminin (osilasyonunun) senkronize edilmesi yollarının bulunması ve böylece tek renkli (coherent) ışığın, yani birbirini izleyen aynı uzunluk-taki dalgaların üretilebilmesidir. Laser fiziğe, madde ile ışık ilişkilerinin incelenebilmesini sağlayan kuy-vatlı bir alet hediye etmiştir. Teknik alanda laser ışığından ölçme işlerinde, maden kısmı ve kayna-ğında, haberleşme ve bilgi depolamada faydalanılmaktadır.

Laserin uygulanması, fotonlarla öteki zercikler arasındaki önemli olmayan farklardan birini ortaya çıkarmıştır. Şimdi ışık zercikleri ile madde zercikleri arasındaki benzerlik ve ayrılıkları daha yakından inceleyelim ve ışık hakkında bilinen şeylerin bu deyimlerle nasıl anlaşılacağını görelim.

Bu maksada hizmet eden fiziksel olaylardan biri kırınımıdır. Bu ışıkla maddenin dalga niteliklerini basitçe ortaya koyar. Küçük bir kaynaktan gelen tek renkli bir ışık demeti veya elektronlar gibi zerciklerden teşekkül eden bir akım, içinde küçük bir delik bulunan bir ekrana doğru yönlendirilirse bu delikten geçen ışık veya zercikler, birincisinin arkasına konulan ikinci bir ekranda karakteristik bir kalıp meydana getirir. Işığın bir dalga olarak kabul edilince, bu kalıbı anlamak çok basitleşir, bu 19 ncu asırda ışığın dalga teorisinin lehine bir delil olarak kullanılmıştı. Kırınım, ışık dalgalarının tamamen doğru çizgiler halinde hareket etmediklerini, kırıldıklarını, öteki dalgalar gibi etrafa yayıldıklarını ve anları toplayan ekrana gitmek üzere değişik yollar seçtiklerini gösterir, sonuç olarak birbirlerinden farklı evre (faz) lerle toplayıcı ekrana varan dalgacıkların girişimi kırınım kalıplarını meydana getirir.

Yukarıda anlatılan basit kırınım şeklini gösterebilmek için tek renkli bir ışık kaynağına ihtiyaç vardır. Âdi ışık kaynakları tek renkte (tek dalga boyunda) ışık vermezler. Meselâ parlak bir gazdan gelen ışık birbirinden bağımsız olarak gazdaki birçok atomlar tarafından neşredilir. Bundan başka atomlar arasındaki çarpışmaların, bunların enerjilerini arttırması veya azaltmasından dolayı, ışık, ders kitaplarındaki sonsuz sinüs dalgaları yerine belli zaman sınırları içinde meydana gelen atınım (puls) halinde yayılır. Böyle bir atınım çeşitli dalga uzunluğundaki saf sinüs dalga gruplarına ayrılabilir. Atınımdaki dalga boylarının uzamı onun süresile ters orantılıdır, bundan dolayı atınım süresi ne kadar kısa olursa, dalga boylarındaki yayılma da o kadar fazla olur. Genellikle girişim kalıpları böyle bir kaynaktan elde edilen ışık-

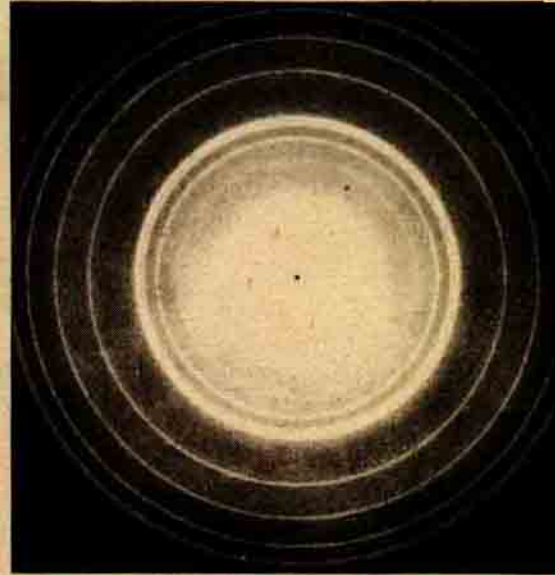
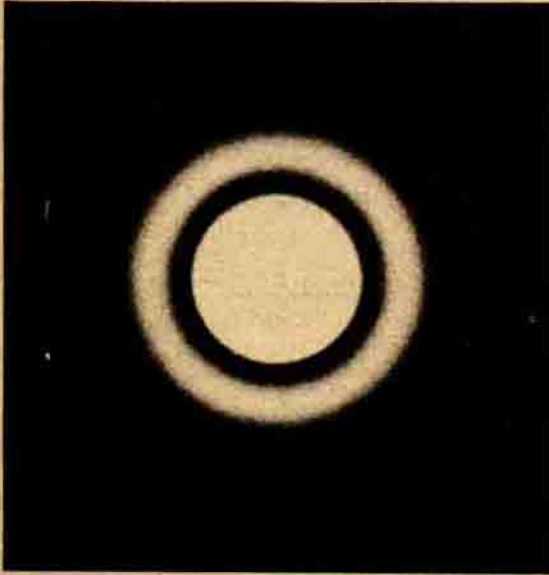
ta fark edilmez. Bunun sebebi çeşitli dalga boylarının çeşitli yerlerde birbirlerine eklenecek girişim yapacakları ve böylece tüm kalibin da sürekli bir aydınlanmaya yaklaşacağıdır. Bu cinsten bir ışığa tek renkli olmayan (incoherent) ışık denir, bunun tersi olarak da girişim kalıplarına uyan ışığa da tek renkli (coherent) ışık denir. Tabii kaynaklardan coherent bir ışık elde etmek için dalga boylarının uzamının tek renkli bir filtrenin yardımıyla daraltılması ve kaynağın büyüklüğünün de iğne deliği gibi küçük bir alana düşürülmesi gereklidir. Laser'in gelişmesi sayesinde şimdi, bu yöntemlerle ilgili yoğunluk kalıbı olmaksızın yüksek derecede coherent ışık elde edebiliriz.

Belirli bir ışık kaynağından elde edilen kırınım kalıbının tam şekli ışığın rengine bağlıdır, bu da kesin olarak dalga boyunun ölçü birimi sayılması olur. Elektronlarda ise dalga boyu, bundan dolayı da kalıp elektronların enerjisine tabiidir. Her iki halde de kırınımın görünebilmesi için delik dalga uzunluğuna nazaran küçük olmalıdır. Dalga boyları 400-700 nanometre ( $4 \times 10^{-7}$  -  $7 \times 10^{-7}$  metre) arasında olan gözle görülen ışığın düz doğrultudan sapsması, delik çok küçük olmadığı takdirde, küçüktür. Gözle görülmesi güç bir iğne deliği hemen he-

men farkına varılabilecek bir kırınım kalıbını ortaya çıkaracaktır. Elektron ve öteki atomaltı zerciklerinin genellikle dalga boyları  $10^{-9}$  metre veya daha azdır, böylece bu zerciklerin kırınımı ancak atomlarının arasındaki  $10^{-10}$  metrelik mesafenin delik olarak kullanıldığı kristallerle gösterilebilir.

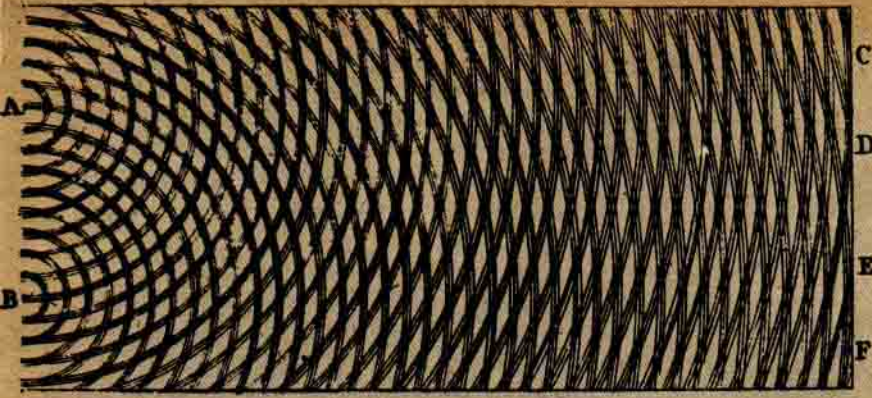
İşte karakteristik dalga boyundaki bu fark, ışık demetleri için dalga niteliğinin gösterilebilmesinin bu kadar kolay ve madde (elektron) demetlerini meydana çıkarmanın çok daha güç olduğunun nedenini açıklar. Kırınım ilk defa olarak elektronlarda 1927 de gösterilmiştir. Bununla beraber ışığın karakteristiği olan bütün dalga nitelikleri şimdi elektron ve nötron demetlerinde de ispat edilmiştir ve bunların öteki zerre demetleri için de doğru olmasından şüphe edilemez.

Madde parçacıkları ile ışık parçacıkları arasındaki esas benzerliği bulmakta önemli bir adım, her iki cins parçacıklar için dalga boyunun, demeti meydana getiren parçacıkların momentü ile ve bunun sonucu olarak da enerjisi ile ilişkili olduğunun anlaşılmasıyla atılmıştır. Aynı denklemler bütün haller için dalga boyunun moment ile ters orantılı olduğunu gösterir. Denklemler aynı zamanda



#### Dalga Niteliği :

Işığın ve elektronların dalga niteliği kırınım etkileriyle gösterilmektedir. Bir nokta kaynağından gelen ışığın kırınım hayali (solda) 0,2 mm. lik bir deliğin muhtelif kısımlarından çıkan dalgaların arasındaki girişim tarafından meydana gelmiştir. Sağda bir elektron demetinin kristalden (burada berillium kullanılmıştır) geçirilmesi suretiyle meydana getirdiği kırınım kalıbının hayali görülmektedir.



Young ışık dalgalar arasındaki girişimi su dalgalarına benzeterek izah ediyordu. Bu şekil 1807 yılında yayınlanan bir kitabından alınmıştır. İki ayrı açıklıktan gelen iki takım dalgaın fazları bir olan yerlerde (iğrilerin birbirlerini kestikleri yerlerde) birbirlerini kuvvetlendirirler.

fotonlarla adi madde parçacıkları arasındaki farkı meydana çıkarırlar.

Meselâ elektronda enerji, parçacığın sükûnet halindeki kütlelerini de kapsamak zorundadır. Fotonlara gelince onların kütleleri sıfırdır ve bu yüzden sükûnet halindeki kütle terimi de denklemde mevcut değildir.

Elektron ve öteki madde parçacıklarının bu sükûnet kütle enerjisidir ( $E=mc^2$ ) ki onlara ışık demetlerinininkinden çok daha kısa dalga boyları verir. Mavi ışığın bir fotonunun  $3 \times 10^{-19}$  Joule'lık bir enerjisi vardır, ki bu  $4 \times 10^{-7}$  metrelik bir dalga boyuna tekabül eder. Eğer bu fotonun enerjisi kinetik enerji olarak,  $8 \times 10^{-11}$  Joule'lık sükûnet halindeki bir kütle enerjisiyle harekete geçen bir elektrona nakledilirse, toplam enerji miktarı çok az değişecektir (milyonda 10 dan daha az) ve dalga boyu yaklaşık olarak  $10^{-6}$  metre olacaktır. Tabiiyle daha büyük

sükûnet halinde kütle enerjisi olan parçacıklar için dalga uzunluğu daha da kısa olacaktır.

Dalga boyunun momentle olan ters orantısı bu denklemde «h» sabit değeri ile elde edilir, ki bu (Planck's Constant) Planck sabit değeri adıyla anılır. Bu değer fizikçiye nasıl girdiğini hatırlamak faydalı olabilir: hikâye ışığın zerrecik niteliğinin tanınmasında önemli bir bölüm teşkil eder. 1900 de Max Planck sıcak bir cismin etrafa yaydığı ışımaya enerjisinin şiddeti ile dalga boyu arasındaki ilişkiyi meydana çıkarmağa çalışıyordu. Klâsik bir elektromanyetik teoriye göre şiddetin frekansın karesine çöğaldiğine inanılıyordu. Bu şekilde hesap olunduğu takdirde daha yüksek frekanslar veya daha kısa dalga boylarına gidildiği takdirde sonsuz ölçüde bir enerjinin yayılması gerekiyordu. Halbuki fiili ölçümler, ele alınan her ısı derecesi için dalga boyu ile ilgili olarak tamamen değişik bir şiddet dağılımı gös-

GENEL DURUM

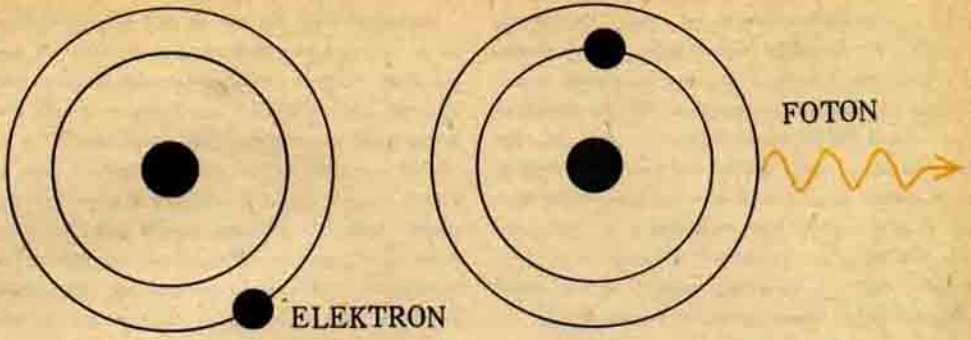
FOTONLAR( $m:0$ )

$$p = \frac{\sqrt{E^2 - m^2 c^4}}{c} = \frac{E}{c}$$

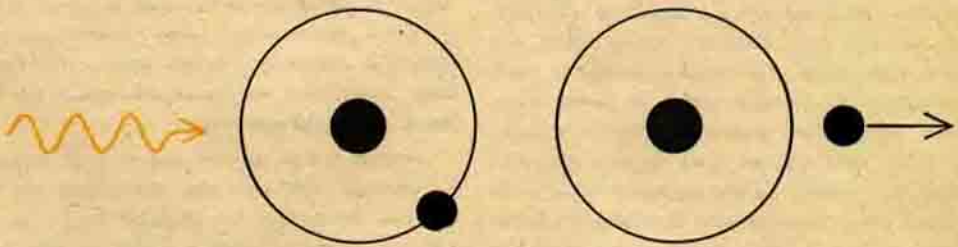
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{\sqrt{E^2 - m^2 c^4}} = \frac{hc}{F}$$

$$v = \frac{pc^2}{E} = c \sqrt{1 - \frac{m^2 c^4}{E^2}} = c$$

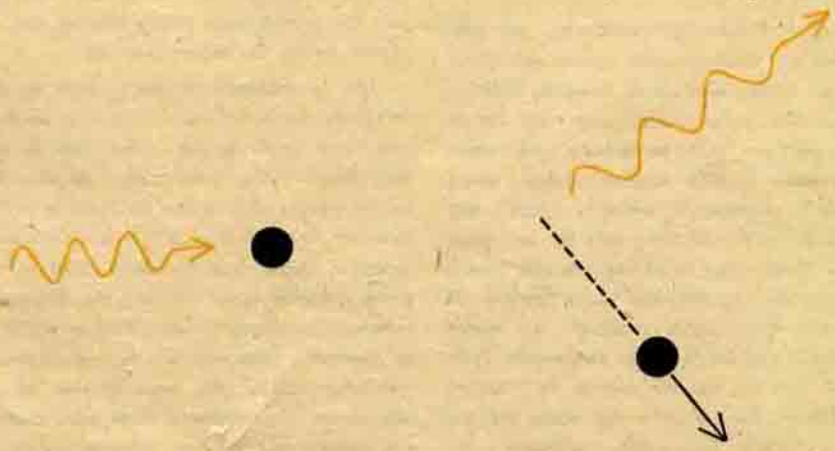
Işık maddenin öteki şekillerinden ilk önce fotonların sükûnet halindeki kütlelerinin sıfır olması dolayısıyla ayrılır. Moment (P) ile enerji (e) arasındaki ilişki fotonlar için özel bir şekli alır (üst sıra). Dalga boyu (v), momente ve Planck sabit değeri (h) ne tabidir, bu evrensel ilişki enerjiye tabi olarak yeniden ifade edildiği zaman iki şekil çıkar (ortada). Aynı şekilde zerre hızı (v), fotonlarda hariç olmak üzere, enerjiye tabidir. (altta.)



Atom veya moleküldeki bir elektron yüksek bir enerji seviyesinden daha alçak bir enerji seviyesine düştüğü takdirde ışık neşrolur. Bu işlemin, ışığın absorbe edildiği bir çok haller tersi de olabilir.



Fotoelektrik etki ışık absorpsiyonunun diğer bir şeklidir, bunda bir atom veya molekül içindeki bir elektron, foton tarafından dışarı atılır. Einstein'ın fotoelektrik etkiyi quantum enerjisinin absorpsiyonu ve aynı miktarda enerji taşıyan bir elektronun yayılması olarak izah etmesi, ışığın quantum niteliğini meydana çıkarmıştır.



Compton etkisi x-ışınlarının dalga boyunun maddenin içinden geçerken nasıl arttığını izah etmiştir. Bir elektrona çarpan bir x-ışını fotonu, sapar ve enerji kaybeder, dalga boyundaki değişme ve sapma açısı dalga boyunun enerjiye olan bağımlılığı ile ilgilidir.

termiştir. Plank bu dağılımı açıklayan ampirik bir formül buldu. Bu formülde sabit bir değer vardı ve Plank yaptığı gözlemlere en iyi uyacak şekilde onu seçmişti. Bu formülün neden doğru sonuç vereceğini anlatmak için de ışığın enerjisini sıcak cismin madesi ile quanta veya paketler halinde değiştirdiğini ispat etmek zorunda kalmıştı. Denklemi, her quantum'daki enerji miktarının «h» sabit değeriyle frekansın çarpılmasına eşit olduğunu gösteriyordu ki  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  joule-saniye idi. (Frekans ışık hızının dalga uzunluğuna bölünmesine eşittir). h sabit değeri o zamandan bugüne tabiatın temel bir sabit değeri olarak yerleşmiş bulunmaktadır.

1905 te klâsik elektromanyetik teorinin başka bir yanışı da Albert Einstein'ı harekete geçirdi ve Plank'ın quantum anlayışını daha da genişletti. Einstein ışık enerjisinin yalnız quanta halinde değişmediğini, aynı zamanda ışık demetinin enerjisinin kendisinin de daima ayrı ayrı quanta'ya bölündüğünü ispat etti. Onun delil fotoelektrik etkinin analizine dayanıyordu. Bazı madenlerin negatif yüklü levhalarının bu yüklerini ultraviyole ışınlar karşısında kaybettikleri gözlenmişti, başka madenler de ise bu tepki görünen ışıkla meydana geliyordu. Bugün her madenin bu etki ile ilgili kritik bir dalga boyu olduğu bilinmektedir. Elektronların çıkması ancak, madenin bu dalga boyunda veya daha kısa dalga boyundaki ışığa maruz bırakılması ile kâbil olmaktadır. Etki tamamiyle dalga boyuna tabidir, ışığın şiddetine ise tâbi değildir. Bundan başka, çok zayıf ışık kaynaklarında bile, enerjinin toplanabilmesi için herhangi bir zaman gerekmeden, ışık üzerine düşer düşmez, aynı anda elektronlar fırlatmağa başlıyorlardı.

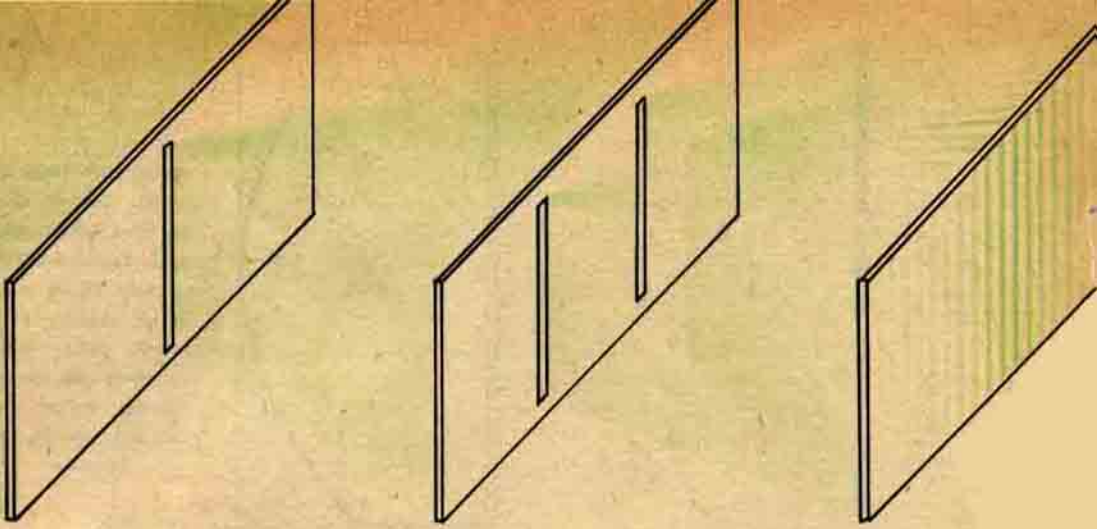
Fotoelektrik etkinin bu niteliklerini, ışık enerjisinin gelen bir dalganın tümü üzerine eşit olarak dağıldığı bir model esas alarak anlamak imkânsızdı. Düşük şiddetli ışıkta demetin her hangi bir yerinde bir elektronu dışarı fırlatmağa **yeten enerji** mevcut olmayacaktı. Diğer taraftan gözlenen sonuçlar Einstein'ın fotoelektrik etkisinin izahına doğrudan doğruya uyarlar ki, buna göre her ışık quantum'u veya foton, ışığın dalga boyu ile ters orantılı olan bir enerjiyi taşımaktadır ve bu orantıyı da Plank'ın sabit değeri tayin etmektedir. Bu madde bir ışık demeti çok sayıda fotonu kapsamakta (yaklaşık olarak bir flaş ışığında sanyide  $10^{18}$  kadar) ve fotoelektrik etkisi de belli bir foton özel bir elektron tarafından, fotonun tüm enerjisinin elektrona geçmesi suretile, absorbe edildiği zaman meydana gelmektedir. Elektronu geçen enerji ile ışığın dalga boyu arasındaki ilişki çok hassas bir şekilde

ölçülmüş ve Einstein'ın hipotezi ile yaptığı tahmine tamamiyle uyduğu görülmüştür.

Compton etkisi bundan da ileri giderek elektronların, ışık demeti içinde bulunan moment ve enerji taşıyan münferit cisimlere çarpmak suretile, ışıkla karşılıklı etkilendiklerini ispat etmiştir. Burada maddeden geçen x-ışınlarının çoğu dalga boylarının arttığı gözlenmiştir. Arthur Holly Compton'a göre bu, yüksek enerjili x-ışını fotonlarıyla elektronların arasındaki çarpışma yüzünden husule gelen bir enerji kaybı idi. Dalga boyunun enerjiyle olan ilişkisini ortaya koyan denklemden Compton, X ışınlarındaki bu dalga boyu değişmesinin dağılma açısına basit bir şekilde olacağını iddia etti ve bu gerçekten gözlemlendi. Bundan hemen biraz sonra, özel sayma tekniklerinin uygulanması suretile, dağılmış her fotonun bir elektronu seçirttiği ve fotonun verdiği enerji ve momentini alıp götürdüğü gösterildi. Billardo toplarının çarpışmalarına benzeyen bu çarpışmaları bir x-ışını demetinin zerrelerden teşekkül eden bir akım gibi davrandığını açıkça göstermiştir. Öteki dalga boylarındaki elektromanyetik ışınlar için de benzer davranışlar gösterilmiştir.

Fotonların, öteki zerreler gibi, moment ve enerji ilişkilerini tayin eden aynı denklemlere tâbi olmalarına rağmen özel bir durumları vardır, bu da sükûnet halindeki kütesinin kaybolmasından ileri gelmektedir. Fotonun dalga niteliklerini relatif üstünlükleri bundan dolayı fotonlarla öteki zerreler arasındaki nitesel farktan ziyade, sükûnet halindeki kütlenin kaybolmasının bir sonucudur. Aynı karakteristik ışık hızının enerjisine tâbi olmadığı verisine de cevap vermektedir. Sükûnet halindeki kütleleri sıfır olmayan zerrelerin hızları enerjileri çoğaldıkça artmaktadır. Fakat fotonun hızı hiç bir surette enerji ile değişmemektedir.

Işık ve maddenin beraberce dalga ve zerre niteliklerine sahip oldukları bulununca, bu bulgu bu niteliklerin beraberce hem ışıkta, hem de maddede bulunabileceklerinin anlaşılmasını da kolaylaştırmıştır. Bu anlayış tabiatın yeni bir izahı ile başlamış ve quantum mekaniği diye tanınarak 1920'lerde olgunlaşmıştır. Işığın veya maddenin Quantum mekaniğinde açıklanan temel cisimleri, hiç olmazsa bir dereceye kadar uzayda bir yeri olan zerrelerdir. Işığın ve maddenin dalga vasıfları bu zerrelerin, klâsik mekanikte olduğu gibi, kesin hareket kanunlarına tabi olmadıkları hakikatını ifade eder. Bunların yerine onların tabii oldukları kanunlar yalnız, muhtelif istikametlerde ki muhtelif hızlarda hareketin relatif ihtimallerini yönütlirler, hatta bilinen bir kuvvet alanındaki bir tek zerre için bile. Işık ve mad-



**Girişim çizgilerinin saçaklarının meydana gelişi yukardaki şekilde görülmektedir, burada yuvarlak delikler yerine ince yarıklar kullanılmıştır. Bir kaynaktan gelen ışık tek bir yarıktan geçirilerek bağdaşık bir duruma getirilmekte ve sonra iki yarık vasıtasıyla birbirlerinin içine geçmesinden girişim çizgileri meydana gelmektedir.**

de ile ilgili dalgalar bu ihtimalleri izah edecek bir yoldur. Bundan dolayı bir ışık demeti bir delikten geçtiği zaman, demetteki fotonların deliğin geometrik bir hayalini verecek şekilde ondan dosdoğru geçmeyip bunun yerine saparak geometrik bir gölge alanında nihayet bulmaları ihtimali vardır ve bu, ışığın dalga uzunluğu ile ilgilidir. Kırınım kalıbındaki dalgaların şiddeti bu ihtimalin ölçüsüdür.

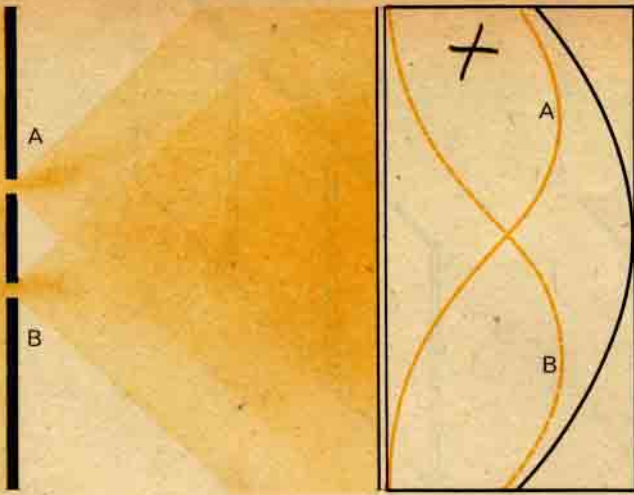
Şimdi Quantum mekaniğinin (ışık veya başka bir maddeye ait) zerrelerle birleştirdiği ihtimallerin geçmişte ışığın dalga niteliğini «ispat eden» Young deneyini nasıl izah ettiğini görelim. Genellikle deney, değişik parlak ve gölgeli çizgilerden teşekkül den bir girişim kalıbı elde etmek için, paralel dar yarıklarla yapılır. Eğer fotonlar klâsik anlamdaki yollarda hareket etselerdi, bir fotonun toplayıcı ekran üzerindeki belirli bir noktaya isabet etmesinin türn ihtimali her geçtiği yol için, bu olayın ihtimallerinin toplamı olacaktı, yani başka bir deyimle ışık kalıbı bölünen demetin iki parçasının bağımsız şiddetlerinin basit bir toplamı olacaktı. Halbuki bunun yerine toplayıcı ekran bir girişim kalıbı göstermektedir. Dalga hareketlerini yöneten kanunlara göre bu kalıp mükemmelen izah edilebilmektedir, ki burada herhangi belli bir noktadaki şiddet, bu noktaya muhtelif yollardan, dolayısıyla muhtelif fazlarda varan dalgaların (yüksekliklerinin ki onların kareleri şiddete eşittir) toplamıdır. Quantum teorisinde bu deney fotonların hareketinin bütün fiziksel sisteme tabi olduğunu gösterdiği şeklinde yorumlanır. Eğer biz fotonun önceden hangisinden geçeceğini tayin etmeden iki yarıktan birinden geçmesine müsaade edersek, deney fotonun şu veya bu yoldan ekrana gitme

ihimallerini yansıtan girişim kalıbını veya daha doğrusu ihtimallerin girişimini gösterecektir. Bunun yerine fotonların ekrana giderken geçecekleri yarığı biz belirlersek, o zaman girişim kalıbı kaybolacak ve biz de ekranda bağımsız şiddetlerin bir toplamını göreceğiz.

Kalıbın gelişmesi hiç bir surette ışık demetinin şiddetine yani yarıktan geçen fotonların miktarına tâbi değildir. 50 yıl kadar önce Cambridge Üniversitesi profesörlerinden G.I. Taylor o şekilde azalttığı bir ışık kaynağı ile yaptığı bir deneyde zamanın çoğunda toplayıcı ekrana giden yolda birden fazla foton kullanılmamıştı. Buna rağmen birkaç aylık bir poz süresinden sonra fotoğraf plâğı girişim kalıbını göstermişti.

Son zamanlarda buna benzer bir deney de laser ışığıyla Rochester Üniversitesi profesörlerinden R. Pflieger ile L. Mandel tarafından yapılmıştır. Teker teker geçtikleri sırada her fotonun gelişini tespit ederken sayacılar her fotonun detektörde rastgele bir yer aldığını gösterdiler. Fakat yeter derecede sayıda foton geçtiği zaman, beklenen girişim kalıbını meydana getirdikleri görüldü. Böylece ekrana belirli bir pozisyonda gelen fotonların sayısı, bu noktadaki girişim kalıbının şiddetile orantılı oluyordu, ki bu bahis konusu ışığın dalga boyu için dalga teorisine göre hesap ediliyordu. Bu da dalga niteliğinin bütün demetten ziyade teker teker her fotonla ilişkili olduğunu gösteriyordu.

İşığın dalga nitelikleri cisimlerin evrensel davranışlarının misalleridir ve tabiatın quantum mekaniğine göre izahında yer almaktadır. Çağdaş fizikçiler bu görüşe göre Young'un girişim deneyi gibi



Klasik zerre izahı; iki yarıkla deneyde ekrana gelen bütün zerrelerin dağılımının, üst yarıktan (koyu renk) ve alt yarıktan (açık renk) çıkan bütün zerrelerin dağılım eğrilerinin toplamı (siyah eğri) olacağı şeklindedir.

deneyleri, ışığın hareket halinde olan bir dalga değil, daha ziyade muhtelif foton hareketlerinin ihtimallerinin bir dalga denklemi ile ifade edildiği şeklinde tefsir etmektedirler. Biz fotonların bir ışık demetinin bileşikleri olduğunu ve dalganın ise onun bir izah şekli olduğunu söyleyebiliriz. Dalgalar eski eter (esir) teorilerinde kabul edildiği gibi maddeden ayrı yeni bir cevherin titreşimleri değildir, daha ziyade onlar, zerrelerin değişik şeyler yapma ihtimallerini matematik yollardan izah eden bir vasıttır.

Onların eter gibi bir taşıyıcıya ihtiyaçları yoktur. Aynı zamanda ışıktaki hem dalga, hem zerre fenomeninin (olayının) mevcut olmasında bir gelişme yoktur. Işığı ve maddeyi teşkil eden zerreler klasik kanunları izlemezler. Eğer burada bizi hayrete düşüren bir şey varsa, o da zerrelerin davranışının basit bir denklemle gösterilebilecek bir dalga kadar bilinen bir kavram ile izah edilebilmesidir.

Işığı fotonlardan teşekkül eden bir akım olarak gösteren bu tablonun ışıkla elektromanyetizm arasındaki ilişkiye nasıl yudurulabileceği tabii olarak insanın aklına gelebilir. Bilindiği gibi onun bulunması 19 cu asır fiziğinin en önemli katkılarından biriydi. Belki bu ilişkiyi en öğretici şekilde mütalaa etmenin yolu, ışığa elektromanyetizmin bir görünüşü nazarile bakmaktansa, şimdi elektromanyetik fenomenin fotonların bir görüntüsü olduğunu düşündüğümüzü söylemek olacaktır. Bu teoriye göre ışınma enerjisinin bir yerden bir yere naklini, fotonların aradaki gedikten geçmesiyle izah etmek oldukça kolaydır. Hatta bir parça daha güç olsa da, yükler ve akımlar arasında meydana gelen statik elektrik ve manyetik güçleri, onların arasındaki bir foton değiş tokuşu ile gözümüzde canlandırmak kabildir. Bu son durumda fotonlara, enerjileri ile momentleri

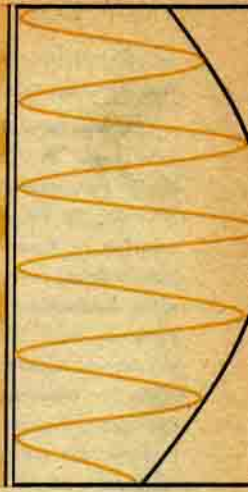
arasındaki ilişkilerin değişik olması dolayısıyla «virtual» (zahiri) fotonlar denilmektedir. Quantum fiziği, zerrler arasındaki elektromanyetik kuvvetler dışındaki kuvvetleri izah edebilmek için bu virtual-zerre değiş tokuşu kavramından faydalanır. Nükleer kuvvetler meselâ, virtual mesonların mübadelesinden meydana gelmiş bir kuvvet olarak izah edilmektedir. Burada da gene karşımıza genel fenomenin özel bir durumu çıkmaktadır.

Genelleştirmede daha ileri gidilirse, bütün elektromanyetik alanların fotonlardan teşekkül ettiği düşünülebileceğini söyleyebiliriz. Bunun bir sonucu, elektromanyetik alanlara her zaman uzay ve zaman içinde belirli (sabit) değerler olarak bakılmayacağıdır. Bunun yerine onların değerlerinde genellikle belirsizlikler vardır, uzay ve zaman içinde aynı bir noktada elektrik ve manyetik alanların her ikisinin birden değerlerini tam olarak ölçmeğe imkân yoktur. Biri hakkındaki tam bilgi ötekini değeri hakkında kaçınılmaz bir belirsizlik yaratır.

Genellikle elektromanyetizmin bu şekilde optike icra edilmesi mümkünse de, birçok hallerde Faraday ve Maxwell'in düşündükleri gibi elektromanyetik alanın özel bir nitelik olarak düşünülmesini haklı çıkaracak sebepler mevcuttur. Gene bu da fotonların özel vasıflarının bir sonucudur. Fotonların sükünet halindeki kütlelerinin sıfır olması yüzünden bir fiziksel sistemin birçok düşük enerjili fotonları, toplam enerjileri çok büyük olmadan, kapsamı mümkündür. İşte bu, meselâ makroskopik yükler arasındaki elektrik alanının durumudur. Eğer biz böyle bir alanı fotonlara ayıracak şekilde analiz edersek, orada birçok düşük enerjili fotonları bulmanın yüksek ihtimali ve muhtelif büyük sayıda başka enerjili fotonların mevcut olmasının



Quantum zerre izahı ise, zerrelerin dağılımının dalga fenomeninin tipik bir dağılım kalıbını göstereceği şeklindedir. Yalnız bu bütün zerrelerin her iki yaraktın da geçebilmesi halinde doğrudur. Gözlemler klasik izahın değil, bunun doğru olduğunu açıkça göstermiştir.



0 SAYI →

değişik ihtimalleri vardır. Bu gibi hallerde daha eski olan açıklama şekilleri kullanmak daha da faydalıdır. Zira birçok fotonları kapsayan bir durumda bir tek fotonun eklenmesi veya çıkarılması küçük bir fark yapacaktır. Açıklamayı başka bir şekle sokarsak şöyle diyebiliriz, kendisini teşkil eden fotonların quantum niteliklerinden husule gelen alan şiddetindeki dalgalanmalar alandaki ortalama değerle kıyaslandığı takdirde küçük kalır. Kısacası elektromanyetizm ile ışığın zerre vasıflarının birçok hallerde önemleri yoktur.

Birbirine benzeyen birçok fotonlarla ilgili durumlarda fotonların önemli olan başka bir özelliği vardır. Buna Bose istatistiği adı verilir. Elektronlar gibi çoğun istikrarlı atom altı zerreler Fermi istatistiğini izler. Bunun bir sonucu olarak elektronlar Pauli exclusion (kovma) prensibine uymak zorundadırlar. Bu prensiple herhangi belli bir zamanda herhangi belli bir moment ve açılal momenti olan bir elektrondan fazlasının varlığını yasaklar. Diğer taraftan ise fotonlarda buna müsaade olduğu gibi, üstelik bunların aynı momentte olmak üzere çok sayıda üreme eğilimleri de vardır.

Bütün istikrarlı temel zerrelerden (hipotetik graviton, veya çekimin quantum'u hariç) yalnız fotonlar geniş bölgeler üzerinde iyi tanımlanmış değerlere sahip klâsik alanları üretmek için lüzumlu kombinezonları meydana getirebilirler. Bundan dolayı, elektromanyetizmin, alan niteliklerinin ilk olarak tanındığı biricik durum olduğu hayret uyandırmamalıdır.

Sırası gelmişken şunu da ekleyelim ki laser de faydalanılan özellik işte budur. Laser'in yaptığı şey tamamiyle aynı enerji ve dalga boyuna sahip olan

zerrelerden geniş sayıda üretmektir. Fotondan başka hiç bir istikrarlı zerre böyle bir şey yapmağa muktedir değildir. Laser ışınının hayret verici makroskopik özellikleri, onun bileşik fotonlarının tamamiyle birbirinin aynı olmasından ileri gelmektedir. Laser'in quantum mekaniği olmadan bulunup bulunmayacağı ilginç bir sorudur!

Işığın özelliklerini tam manasile anlayabilmek için, ışık ve madde zerrelerinin aralarındaki ilişkileri düzenleyen karşılıklı temel etki sürecini bilmenin büyük bir önemi vardır. Aslında fotonlar yüklü veya nötr, atomaltı zerrelerin çoğu ile karşılıklı birbirlerini etkiledikleri halde (tam olarak ispat edilmiş olmamakla beraber), karşılıklı asil temel etkinin fotonlarla yükler arasında olduğuna inanılmaktadır. Bu modele göre, ki buna bazan Ampere varsayımı denilir, fotonların nötronlar gibi elektriksel nötr cisimler tarafından yayıldığı ve absorbe edildiği gerçeği, bu cisimlerin bir bütün olarak nötr olmalarına rağmen, hacimlerinin her yerine dağılmış, karşıt yüklerden meydana gelen bir bünyeye sahip oldukları hakikatının bir sonucudur. İşte büyük bir ihtimalle fotonları yapan ve absorbe eden bu içsel yüklerdir.

En basit yüklü zerre, bilinen hiç bir bünyeye sahip olmayan elektron sayılmaktadır. Hareketsiz bir elektron bir yük noktası olarak alınabilir ve onun ışıkla karşılıklı temel etkisi, bu noktadan tek tek fotonların yayılması ve absorbe edilmesidir. Elektronun oturduğu noktada bir foton bulunursa, fotonun elektron tarafından absorbe edilmesi ve böylece ortadan kaybolması ihtimali vardır. Aynı şekilde bir elektron kendiliğinden hatta hiç bir foton mevcut olmadığı halde bile, bir foton çıkarabi-

lir. Bu olayların ihtimali, elektronun yükünün karesi ile orantılıdır.

Burada karşılıklı temel etki süresinde elektronların sayısı aynı kaldığı halde foton sayısının değiştiği belirtilmelidir. Yüklü zerrelerde olduğu gibi fotonlar için bir «baki kalma kanunu» yoktur. Bu gerçeğin ve fotonların, kaybolan sükkünat halindeki kütlelerinden dolayı, istenildiği gibi düşük enerjiye sahip olabilecekleri gerçeğinin bir sonucu olarak bir fotoğraf (flaş) lambasında olduğu gibi, onları büyük sayıda üretmek kolaydır. Bununla beraber böyle bir demetteki çok sayıda fotonların hepsi, flaş ışığının elektrik lambasının flamanının atomlarındaki tek tek elektronlar tarafından birer birer üretilir.

Fotonların yalnız yüklerle karşılıklı ilişki kurdukları şeklindeki ampere varsayımı ile başlamak ve özel relativite ve quantum mekaniğinden faydalanmak suretile quantum elektrodinamiği adile tanınan matematik bir teori geliştirildi. Bu sayede ışık ve elektronlarla ilgili fenomenlerin bütün bölgesi için ayrıntılı ve hassas tahminlerde bulunmak imkânı sağlandı. Bu tahminlerin bazıları (meselâ hidrojen atomlarının mikro dalgalara cevap vermesi) milyarda bir oranında ispat edilmiş oldu. Gerçekten fizikçilerin ortaya attıkları bütün teorilerden elektronların quantum elektrodinamiği, yalnız gezegenlerin gözlemlere tamamen uygun olan hareketlerinin gravitasyon (yer çekimi) teorisi ile rekabet halindedir. Adi madde ile ilişkisi bulunan fenomenin büyük bir kısmı ışık ile maddenin karşılıklı etkilerinden veya bu karşılıklı etkiyi üreten elektromanyetik kuvvetlerle yükler arasındaki oyundan meydana geldiği için, biz de Dirac'ın dediği gibi, bu teörinin «bütün kimyayı ve fiziğın de çoğunu izah ettiğii» kanısındayız. Burada belirtildiği gibi teori, fotonlar için de diğer zerreleri açıklamak için kullandığı aynı kıstasları kullanmaktadır. Elektronların quantum elektrodinamiğinin başarısı bundan dolayı, maddenin hepsinin aynı genel prensiplerle izah edildiği sürece birbirine benzediği fikrinin doğruluğuna tanık olarak gösterilebilir.

Işığın protonlar gibi diğer yüklü zerrelerle olan karşılıklı etkisi teorik olarak daha az anlaşılmiştir. Bu zerrelerin uzaysal bir bünyesi vardır, bu bünye onların karşılıklı etkileri dolayısıyla süratle birbirlerine dönüşümlerinden hasil olmaktadır, ki bu

kuvvetli karşılıklı etkide atom çekirdeğini bir arada tutan kuvveti meydana getirir. Işığın protonlar tarafından sağılması hakkındaki ayrıntılar tam manasile herhangi bir teoriden çıkarılamamaktadır. Bununla beraber çoğu fizikçiler bunu, ışığın özelliklerini anlayışımızdaki noksanlıktan ziyade, kuvvetli karşılıklı etkilerle uğraşma kabiliyetimizin bulunmamasının bir sonucu sayarlar. Işığın yüklerle olan karşılıklı etkisinin esas bakımından basit ve evrensel olduğuna inanılmaktadır, hatta bu yüklerin birbirlerine karşı da kuvvetli etkileri olsa bile. Son bir kaç yılda kuvvetli karşılıklı etkilerle iş görme kabiliyetsizliğimizi kısmen yenebilecek bazı teknikler geliştirilmiştir ve ışığın öteki bütün yüklü zerreler ile olan karşılıklı etkilerini hesaplamakta bazı ilerlemeler elde edilmiştir. Bu karşılıklı etkileri anlayışımızın, ışığın elektronlarla olan karşılıklı ilişkilerini anlamamız derecesinde olup olacağı daha belli değildir.

Geçmişte birçok defalar fizikçiler ışığın temel niteliğini anladıklarını sanmışlar ve her seferinde de aldanmışlardı. Bizim görüşümüzün de yanlış olması ve gelecekte tamamen değişmesi mümkün değil midir? Fiziğın geleceği hakkında kehanette bulunmak tehlikeli bir şeydir, böyle kehanetler geleceğın fizikçilerine bir eylence kaynağı, alay konusu olur. Bununla beraber böyle bir soru cesaretle karışılmalıdır. Şu andaki anlayışımıza göre ışık maddenin öteki şekillerine benzemektedir, bundan dolayı ileride bu anlayışta yapılacak herhangi bir temel değişiklik yalnız ışığı değil, maddeyi bir bütün olarak içine alacaktır.

Böyle yeni bir açıklamaya olan ihtiyaç, belki maddenin akıllara durgunluk verecek kadar çeşitli tiplere ve temel zerreler üzerinde yapılan araştırmaların meydana çıkardığı davranışlarını yöneten kanunlara sahip olmalarından ortaya çıkmaktadır. Bu zerreler her şeye rağmen ışık ve maddenin en son bileşikleri olmayabilir ve belki de daha derin başka şeylerin görüntülerinden ibarettirler.

Şu anda foton teorisi ışık hakkında bildiğimiz her şeyi dakik olarak izah edilmektedir. Işığın esas bakımından maddenin başka bir şekil olduğu anlayışı geleceğe ait her teoride yer alacağına benzemektedir. Bu fikir 20. asrın fizikçilerinin ışığın anlaşılması konusunda yapmış oldukları özel bir katkıdır ve bununla hakikaten iftihar edebiliriz.

*Scientific American'dan*

Birçok insanların yeni düşünce'ler bulamamalarının sebebi hafızalarının fazlasıyla kuvvetli olduğundandır.

*F. Nietzsche*