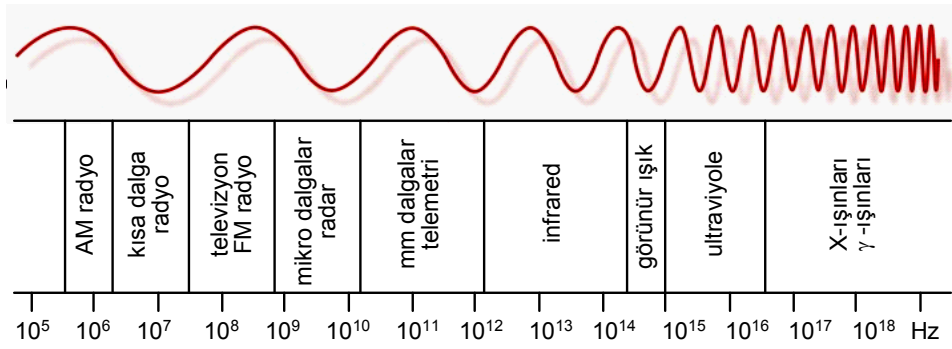


ELEKTROMAGNETİK IŞIN

ELEKTROMAGNETİK IŞININ ÖZELLİKLERİ

Ref. Enstrümantal Analiz, Absorbsiyon ve Emisyon

Elektromagnetik Spektrum



Elektromagnetik Dalga	Enerji, E (eV)	Frekans, f (Hz)	Dalga Boyu, λ (μm)
Radyo Dalgaları	$10^{-11} < E < 10^{-5}$	$10^3 < f < 10^9$	$10^{11} > \lambda > 10^6$
Mikrodalgalar	$10^{-6} < E < 10^{-3}$	$10^9 < f < 10^{12}$	$10^6 > \lambda > 10^3$
İnfrared Işıklar	$10^{-3} < E < 2$	$10^{12} < f < 5 \times 10^{14}$	$10^3 > \lambda > 0.77$
Görünür Işık	$2 < E < 3$	$4 \times 10^{14} < f < 8 \times 10^{14}$	$0.77 > \lambda > 0.39$
Ultraviyole Işıklar	$3 < E < 10^3$	$7 \times 10^{14} < f < 3 \times 10^{17}$	$0.39 > \lambda > 0.01$
X-ışınları	$10^2 < E < 10^6$	$10^{16} < f < 10^{21}$	$0.1 > \lambda > 10^{-7}$
Gama Işıklar	$10^4 < E < 10^8$	$10^{18} < f < 10^{23}$	$10^{-4} > \lambda > 10^{-8}$
Kozmik Işıklar	$E > 10^8$	$f > 10^{22}$	$\lambda < 10^{-7}$

Elektromagnetik ışının özellikleri klasik dalga modeli ile tanımlanabilir. Bu modelde dalga boyu, frekans, hız, ve genlik gibi parametreler kullanılır. Elektromagnetik ışın vakumlu ortamlardan da geçebilmesi nedeniyle yine bir dalga olayı olan ses dalgalarından farklı bir durum gösterir.

Dalga modeli, ışının absorpsiyonu (soğurma) veya emisyonu (yayımlanma) olaylarını açıklamada yetersizdir. Absorpsiyon veya emisyonda elektromagnetik ışın "foton" adı verilen enerji taneciklerini oluşturan bir huzme olarak düşünülebilir. Bir fotonun enerjisi, ışının frekansı ile orantılıdır.

Işık taneciklerden mi yoksa dalgalardan mı oluşmuştur? 20.Yüzyılın sonlarına kadar fizikçilerin çoğu ışığın dalgalardan ibaret olduğunu savunmuşlardır. Fakat sonraları durumun farklı olduğu gözlenmiştir.

Işıkla ilgili pek çok olay 'dalga' kavramıyla açıklanabilir. Ancak fotoelektrik etki ışığın tanecik özellikte olduğunu bir göstergesidir. Elektronların bulunması da ışığın çift karakterli, yani tanecik ve dalga özellikler taşıdığını gösterir. Örneğin, ışığın bazı dalga ve tanecik özellikleri aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.

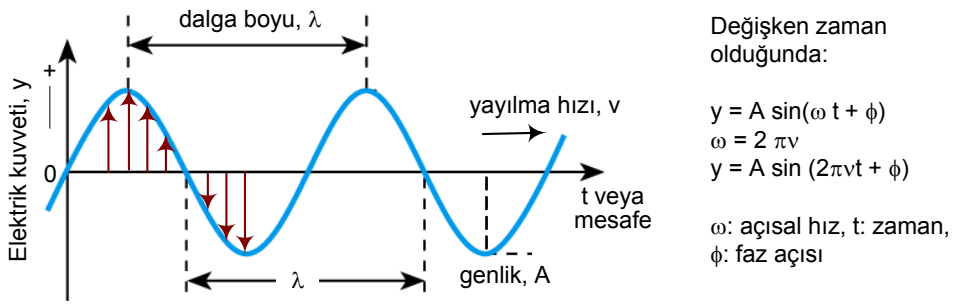
Olay	Özellik	
Girişim Interference	dalga	-
Kırınım (Diffraction)	dalga	-
Polarizasyon	dalga	-
Fotoelektrik Etki	-	tanecik
Yansıma (Reflection)	dalga	tanecik
Kırılma (Refraction)	dalga	tanecik

DALGA ÖZELLİKLERİ

Elektromagnetik ışın, elektriksel ve magnetik alanlardan oluşan ve ortamda, dalga ilerleme yönüne 90° lık bir yönde salınan bir elektriksel kuvvet alanı gibi düşünülebilir. Bir ışın demetinin, ortamda sabit bir noktadan geçerken izlediği yol grafiksel olarak gösterilmek istenirse, vektöryel miktarlardan (elektrik veya magnetik

alanlar) birisi zamanın veya mesafenin fonksiyonu olarak grafiğe alınır. Şekil-1'de elektriksel vektör ordinat olarak alınmıştır. Normal olarak ışının absorpsiyonu, yansıması, kırılması ve geçmesi gibi oluşumlardan elektriksel kuvvet sorumlu olduğundan, çoğunlukla sadece elektriksel vektör kullanılır.

Şekil-1'de basit bir monokromatik (tek bir frekanstaki ışın) düzlem-polarize (dalgalanma tek bir düzlemde) ışının grafiği görülmektedir.



Şekil-1: Monokromatik, düzlem-polarize ışının yayılımı

Dalga Parametreleri

Periyot, p: Ortamdaki sabit bir noktadan geçen bir ışının birbirini takip eden iki tepe noktası arasındaki mesafeyi (devir) geçmesi için gerekli zamandır; birimi saniye/devir

Genlik, A (Amplitude): Dalga hareketinin denge halinden olan maksimum yer değiştirmesidir.

Frekans, ν : Saniyedeki titreşim sayısıdır ve $1/p$ ye eşittir. Frekans ışık kaynağı tarafından belirlenir ve ışının geçtiği ortamdan etkilenmez. Frekansın genel birimi Hz (hertz) dir ve 1 devir/saniye ye eşittir.

Yayılma Hızı, v : Dalganın bir ortamdan geçiş hızıdır. Hız ortama ve frekansa bağlıdır. Hızın frekansa bağımlılığı i alt işareti ile tanımlanır.

Dalga boyu, λ : Bir dalganın, birbirini takip eden iki maksimum veya iki minimum dalgalanma noktası arasındaki doğrusal mesafedir.

$$v_i = v \lambda_i \text{ cm/sn}$$

İfadesi, frekansın dalga boyu ile çarpımının hıza eşit olduğunu gösterir. Vakumda ise hızın frekansa bağımlılığı yoktur. Bu koşullardaki hız c ile gösterilir,

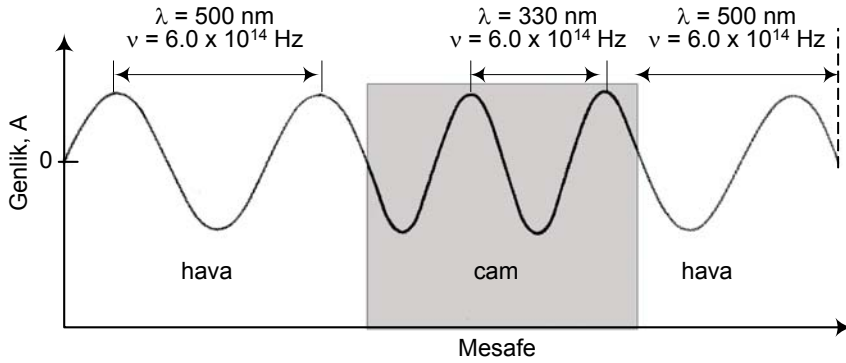
$$c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$$

olarak saptanmıştır. Yani, vakumda

$$c = v \lambda \cong 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$$

Vakum olmayan herhangi bir ortamda hızın değeri, ortamda bulunan moleküller ve atomların elektronları ile ışının elektromagnetik alanının etkileşmesi nedeni ile düşüktür. Işının frekansı kaynak tarafından sabitleştirilmiş ve değişmez olduğundan, ışının vakumdan madde içeren bir ortama geçmesi halinde dalga boyu değeri azalır. Bu etki Şekil-2'de görülmektedir.

Işının havadaki hızı, vakumdaki hızından (c) %0.03 kadar daha düşüktür. Bu çok az bir fark olduğundan $c = v \lambda = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ havadaki ışın hızı olarak da kullanılır.



Şekil-2: Monokromatik ışına ortam değişikliğinin etkisi

Dalga sayısı, σ : Elektromagnetik ışını tanımlayan bir başka parametre olan dalga sayısı her bir cm deki dalgaların sayısıdır ve vakumdaki dalga boyu cm cinsinden ifade edildiğinde $1/\lambda$ ya eşittir.

Işının Gücü veya Şiddeti: Işının gücü, P , demetin bir yere bir saniyede ulaşabilmesi için gerekli olan enerji miktarıdır; şiddet (I), birim açığa düşen güçtür. Bu iki terim, genliğin (A) karesi ile bağıntılıdır.

Işının Enerjisi, eV (elektron volt): Bir elektronun 1 volt potansiyel verilmesi durumunda kazandığı enerji miktarıdır.

Dalgaların Süper Hali

Süper hal ilkesi"ne göre, iki veya daha fazla dalganın aynı ortamı geçmeleri durumunda meydana gelen yer değiştirme, her bir dalganın neden olduğu yer değiştirmelerin toplamına eşittir. Bu ilke, atom ve moleküllerin yerlerinin değişmelerine neden olan dalgalara uygulanabildiği gibi, yer değiştirmenin elektriksel kuvvet alanına bağlı olduğu elektromagnetik dalgalar için de geçerlidir; örneğin aynı frekansta fakat farklı genlik ve faz açısındaki n tane elektromagnetik dalganın ortamdaki bir noktadan geçmesi halinde toplam kuvvet alanı,

$$y = A_1 \sin (2\pi\nu t + \phi_1) + A_2 \sin (2\pi\nu t + \phi_2) + \dots + A_n \sin (2\pi\nu t + \phi_n)$$

TANECİK ÖZELLİKLERİ

Bir madde tarafından soğurulan veya yayımlanan bir fotonun enerjisi, maddeyi oluşturan elemanlardan birinin herhangi bir moleküler hareketiyle veya iki farklı moleküler (veya atomik) durum arasındaki enerji farkı ile ilişkilidir. Bu nedenle ışını enerji birimleri ile veya enerji ile doğrudan orantılı olan frekans (Hz) veya dalga sayısı (cm^{-1}) terimleri ile tanımlanır. Diğer taraftan ışının deneysel ölçümleri, cm, μm veya nanometre gibi dalga boyu birimlerinin tersi ile ifade edilir.

Yüksek enerjili X-ışınları veya UV ışının tanımlanmasında elektron volt (EV) kullanılır; elektro volt, bir elektronun 1 volt potansiyel verilmesi durumunda kazandığı enerji miktarıdır. Işın enerjisi her bir mol fotonun enerjisi olarak da tanımlanabilir; bu, fotonların Avagadro sayısına eşittir. Enerji birimleri kcal/mol veya cal/mol dür.

Işın ve madde arasındaki bazı etkileşimleri anlamak için ışının "fotonlar" veya "kuvanta" denilen enerji paketlerinden oluştuğu varsayılır. Bir fotonun enerjisi ışının frekansına bağlıdır ve aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$E = h \nu \quad E = \frac{h c}{\lambda} \quad h \text{ (Planck sabiti)} = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg.sn}$$

Buna göre $\lambda \sim 10^{-8}$ cm olan bir X-ışını fotonunun enerjisi sıcak bir tungsten telden yayılan fotonun ($\lambda \sim 10^{-4}$ cm) enerjisinin yaklaşık 10000 katıdır.

Işığın parçacık niteliğini, yani elektromagnetik kuantumların (fotonların) varlığını içeren olay ve deneyler:

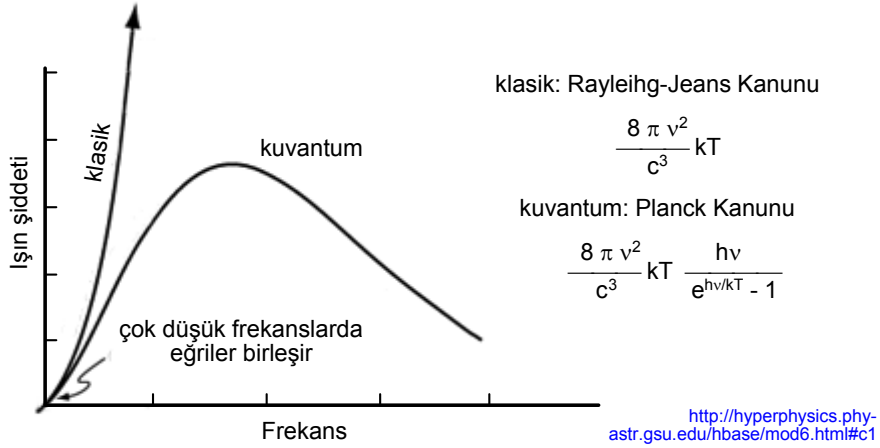
- Siyah cismin ışıması,
- Fotoelektrik etki,
- Compton saçılması

Siyah Cismin Işıması

Katılar akkor hale kadar ısıtıldıklarında sürekli bir ışın çıkışı olur. Çıkan ışın, çıkışına neden olan madde yüzeyinin bileşiminden çok sıcaklığına göre karakteristik bir durum gösterir. Bu tip ışına "siyah-cisim ışını" denir ve ısı enerjisi ile katı içinde sayısız atomik ve moleküler salınımlar oluşturularak elde edilir.

Siyah-cisim ışınının teorik incelemesi aşağıdaki sonuçları verir:

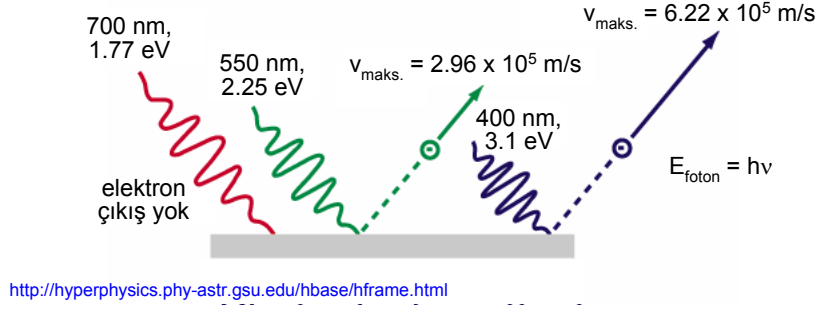
- Işındaki dalga boylarından mutlak sıcaklığın tersi ile orantılı olan dalga boyu, maksimum değere sahiptir ($\lambda_{maks.} \propto 1/T$);
- Bir siyah-cisimden çıkan toplam enerji (birim zaman ve alan için), sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle değişir ($E_{toplam} \propto T^4$);
- Belirli bir sıcaklıktaki ışının çıkış gücü dalga boyunun beşinci kuvvetinin tersi ile değişir ($P \propto 1/\lambda^5$).



Şekil-3: Frekansın fonksiyonu olarak siyah cisim ışın şiddeti

Fotoelektrik Etki

Fotoelektrik etkide foton absorpsiyonuyla atom bir elektron çıkararak iyonlaşır.



Şekil-4: Fotoelektrik etki; potasyum elektron çıkışı için en az 2.0 eV uygulanır

Elektromagnetik ışının davranışını tanımlamada bir tanecik modeli oluşturmak için "fotoelektrik etki" kavramının bilinmesi gerekir. Yeteri kadar enerjili bir ışın metalik bir yüzeye çarptığında metalden elektronlar çıkar, yani yayılır. Yayılan elektronların enerjisi, metale çarpan ışının frekansı ile ilişkilidir ve,

$$E = h \nu - w$$

eşitliği ile ifade edilir.

w iş fonksiyonudur ve metalden vakuma elektronları çıkarmak için gerekli işi gösterir. E doğrudan frekansa bağımlı olduğundan ışın demetinin şiddetinden dolayı değişmez, ışının şiddeti arttıkça sadece E enerjisi ile "çıkarılan elektronların sayısı" artar.

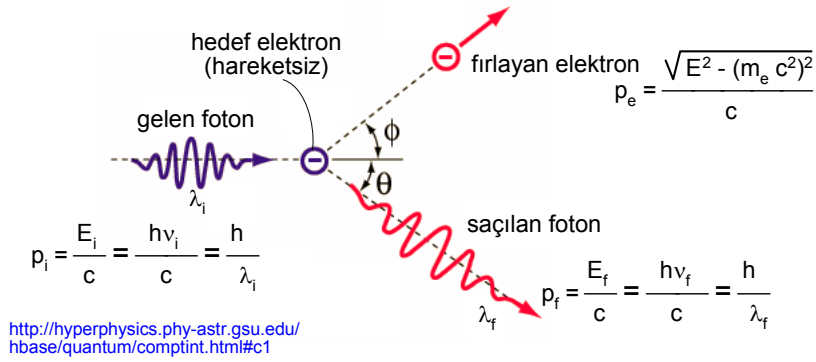
Metale çarpan ışının metal yüzeyine düzgün bir şekilde dağılması halinde, hiç bir elektronun kopmak için gerekli enerjiyi kazanamadığı hesaplarla saptanmıştır. Bu durum, enerjinin ışık demetinde muntazam bir şekilde dağılmadığını, bazı noktalarda yoğunlaştığı veya enerji tanecikleri halinde bulunduğu varsayımına yol açmaktadır.

Elektronların emisyonu için gerekli iş, w , her metal için farklıdır. Alkali metallerin iş fonksiyonları düşüktür ve görünür (visible) bölgedeki ışının etkisi ile elektron ya-

yarlar. Periyodik tabloda da alkali metallerin sağında bulunan metallerin iş fonksiyonları daha yüksektir ve fotoelektrik etki için daha yüksek enerjili Ultraviyole ışınlarına gereksinim gösterirler.

Compton Saçılması

Gelen fotonun enerjisi, iyonlaşma enerjisinden çok büyüktür.



Şekil-5: Compton Saçılmasının şematik görünümü

Compton, karbon bir hedefteki elektronlardan X-ışınlarının saçıldığını gözlemlemiş ve saçılan X-ışınlarının dalga boyunun gelen ışınınkinden daha uzun olduğunu bulmuştur. Dalga boyundaki artış, Compton formülüne göre,

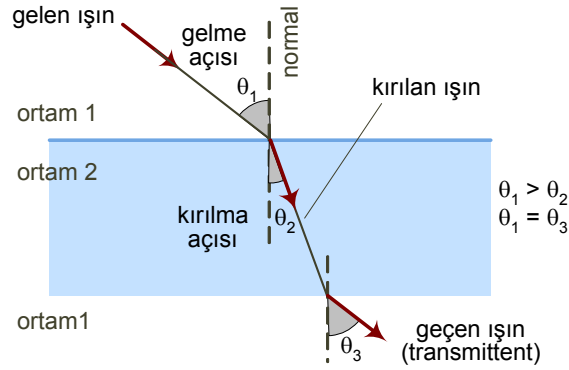
$$\lambda_f - \lambda_i = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

Compton modeli, ışığın tanecik (foton) karakterde olduğu kabul edilerek ve foton ve elektron arasındaki çarpışmada enerji ve momentumun korunum ilkesi olduğu varsayılarak çıkarılmıştır. Saçılan fotonun enerjisi daha düşüktür, bu nedenle Planck bağıntısına uygun olarak dalga boyu daha uzundur.

IŞININ DAVRANIŞLARI

Işının Geçişi (Transmisyon)

Işının, şeffaf bir madde içindeki ilerleme hızının vakumdakinden daha düşük olduğu deneysel olarak gözlenmiştir. İlerleme hızı ayrıca ortamdaki atomların, iyonların veya moleküllerin cinslerine ve konsantrasyonlarına da bağlıdır.



Şekil-6: Işının geçişi (transmission)

Bir ortamın refraktif (kırma) indeksi onun ışın ile etkileşiminin bir ölçüsüdür ve aşağıdaki bağıntı ile verilir. Burada, n_i , i frekansındaki refraktif indeksi, v_i ışının ortamdaki hızı, ve c ışının vakumdaki hızıdır.

$$n_i = \frac{c}{v_i}$$

Transmisyonla neden olan etkileşim, ışının elektrik alanının değişmesiyle açıklanabilir. Değişen elektrik alanı, ortamda bulunan taneciklerin bağlı elektronlarının dalgalanmalarını ve her bir taneciğin polarize olmasını sağlar. Işının absorblanmaması koşulu ile tanecikler polarizasyon enerjisini çok kısa bir süre ($10^{-14} - 10^{-15}$ saniye) tutarlar ve hiç bir değişikliğe uğratmadan tekrar çıkarırlar; tanecikler de orijinal durumuna dönerler. Bu olayda herhangi bir enerji değişikliği olmadığından maddeden çıkan ışının frekansı değişmez fakat ilerleme hızı, tanecikler tarafından tutulma ve tekrar bırakılma sırasında geçen zaman nedeniyle biraz azalır. Bu açıklamadan sonra transmisyon olayını, ara kademede atomların,

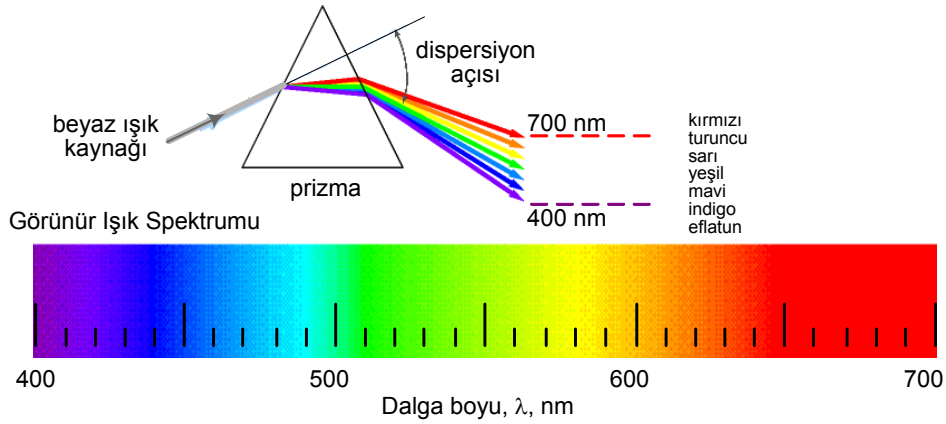
iyonların, veya moleküllerin dalgalandığı basamaklı bir işlem olarak tanımlayabiliriz.

Bir ortamda polarize olan her bir tanecikten çıkan ışının değişik yönlerde hareket edebileceği düşünülebilir. Taneciklerin küçük olması halinde, zıt yönlü ışınların birbirlerini yok etmesi sonucu orijinal ışık yolunun yönünden farklı yönlerde önemli derecede bir hareket görülmez. Taneciklerin, polimer molekülleri veya koloidal tanecikler gibi büyük olması durumunda ise birbirini yok etme etkisi zayıflar ve ışınların bir kısmı farklı yönlerde hareket ederler, yani saçılırlar.

Dağıtma (Dispersiyon)

Işının hızı frekansa bağımlıdır; dolayısıyla, refraktif indeksin frekansla değişmek zorunluluğu vardır. Bir maddenin refraktif indeksinde, frekans veya dalga boyu ile meydana gelen değişikliğe bu maddenin "dağıtması" denir.

Beyaz ışık bir prizmada, Şekil-7'de görüldüğü gibi, dispersiyonla spektral renklerine ayrılabilir.



Şekil-7: Beyaz ışığın bir prizmada dispersiyonu

Genellikle, dalga boyu arttıkça indeks azalır; madde içinde mavi renk kırmızı ışıktan daha yavaş hareket eder. Dispersiyon, bir prizmada renklerin ayrılmasını sağlayan bir olaydır; aynı zamanda merceklerdeki istenmeyen kromatik sapmayı da açıklar.

Bir maddenin dispersiyonu hidrojenin mavi F hattında, sodyum sarı D hatlarında ve hidrojen kırmızı C hattındaki indeksi ölçülerek karakterize edilir. Dispersiyon Abbe sayısı (veya ν değeri, veya V sayısı) denilen standart bir parametreyle ölçülür.

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

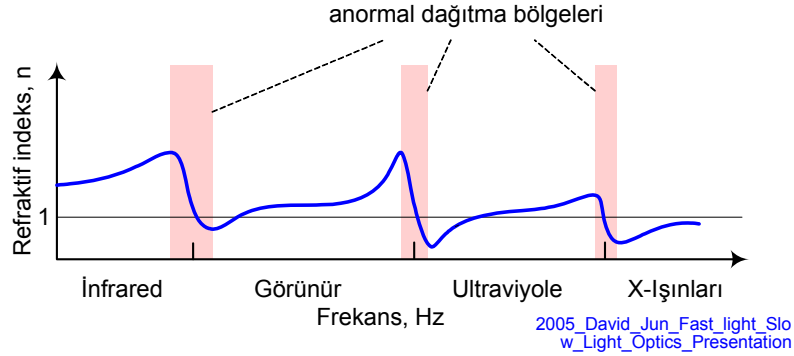
n_D : sodyum sarısı, n_F : hidrojen mavisi, n_C : hidrojen kırmızısı

camlar:

$\nu \geq 55$, düşük dispersiyon; mercek camları

$\nu < 50$, yüksek dispersiyon; kristal camlar

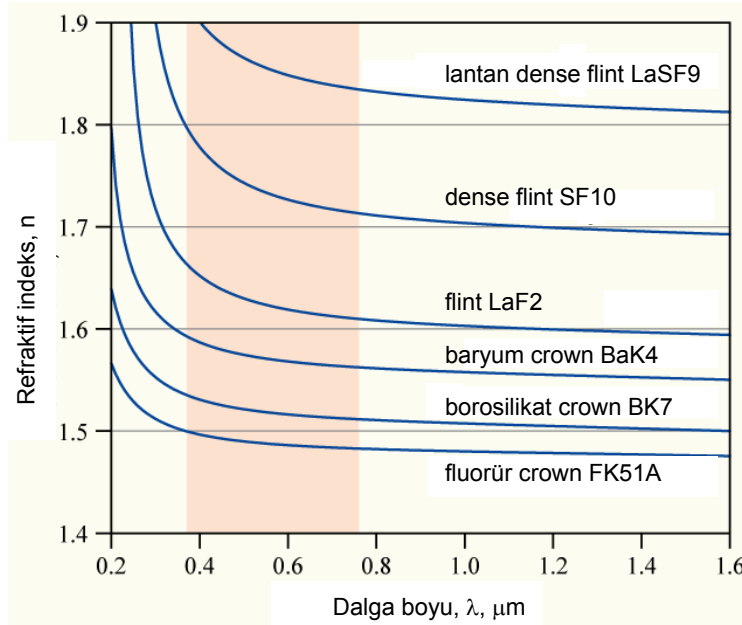
Tipik bir maddenin dağıtma eğrisi Şekil-8'de verilmiştir; grafikte iki bölge bulunur; bunlar "normal dağıtma" ve "anormal dağıtma" bölgeleridir. Normal dağıtma bölgesinde maddeye gönderilen ışının frekansının artmasıyla (veya dalga boyunun azalmasıyla) maddenin refraktif indeksi de artar. Anormal dağıtma bölgelerinde ise bazı frekanslarda refraktif indeks değerlerinde ani değişiklikler olur; bu tür dağıtmalar maddenin molekül, atom, veya iyonlarının bir kısmı ile birleşebilen harmonik (uyumlu) frekanslarda gözlenir. Harmonik frekanslarda ışından maddeye belirli bir enerji nakli olur ve ışın absorblanır.



Şekil-8: Tipik dispersiyon eğrisi; anormal dispersiyon bölgelerinde; refraktif indeks frekans ile azalır

Enstrümanların optik parçalarının seçiminde dağıtma eğrileri oldukça önemlidir. Örneğin, lenslerin üretiminde kullanılacak en uygun malzemeler, belirlenmiş dalga boyu aralığında normal dağıtma eğrisi veren, yüksek ve oldukça sabit (refraktif indekse bağımlı olmayan) refraktif indeksli malzemelerdir. Bu tip malzemeler, lenslerdeki kromatik sapmayı en düşük düzeye indirir.

Tersine, prizmaların üretiminde refraktif indeksi yüksek fakat frekansa çok bağımlı olan malzemeler kullanılmalıdır. Bir prizmanın kullanıldığı dalga boyu aralığı, bunun üretildiği malzemenin anormal dağıtma bölgesi göstermeye başladığı frekansa kadar olan kısımdır.



http://en.wikipedia.org/wiki/Refractive_index

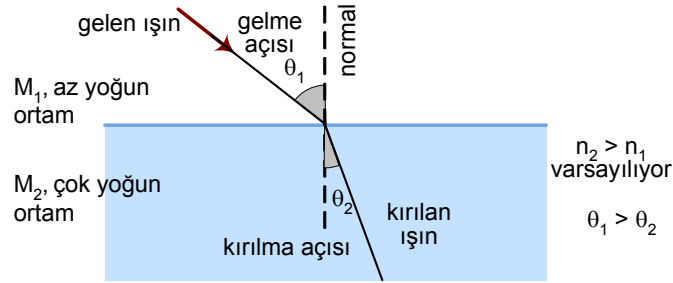
Şekil-9: Refraktif indeksin dalga boyuna bağımlılığı (Normal dispersiyon; refraktif indeks dalga boyu ile azalır, veya frekans ile artar)

Işının Kırılması (Refraction)

Işın fiziksel yoğunlukları farklı olan bir ortamdan diğerine geçerken, bu iki ortamdaki hız farkı nedeniyle aniden yön değiştirir. Bir ışının böyle yön değiştirmesine ışığın kırılması denir ve aşağıdaki ifade ile gösterilir.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

M_1 ortamı vakum ise $v_1 = c$, $n_1 = 1$ 'dir; M_2 ortamının refraktif indeksi de bu durumda iki açının sinüsleri oranına eşit olur.



Şekil-10: Işının kırılması

Işının Yansıması (Reflection)

Refraktif indeksleri farklı olan iki ortam arasına giren ışının bir bölümü yansımaya uğrar. Ortamlar arasındaki refraktif indeks farkı ne kadar büyük olursa ışının yansıyan bölümü de o kadar fazla olur.

Yansıma Yasası: Yansıtıcı bir yüzeye gelen bir ışın, yüzeye dik olarak çizilen bir doğruya (normal) göre gelme açısına eşit bir yansıma açısıyla yansır. Bu yansıma yasası Fermat ilkesinden çıkarılır.

Yüzeyler arasına giren bir ışın demetinin yansıyan bölümü

$$\frac{I_r}{I_0} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2}$$

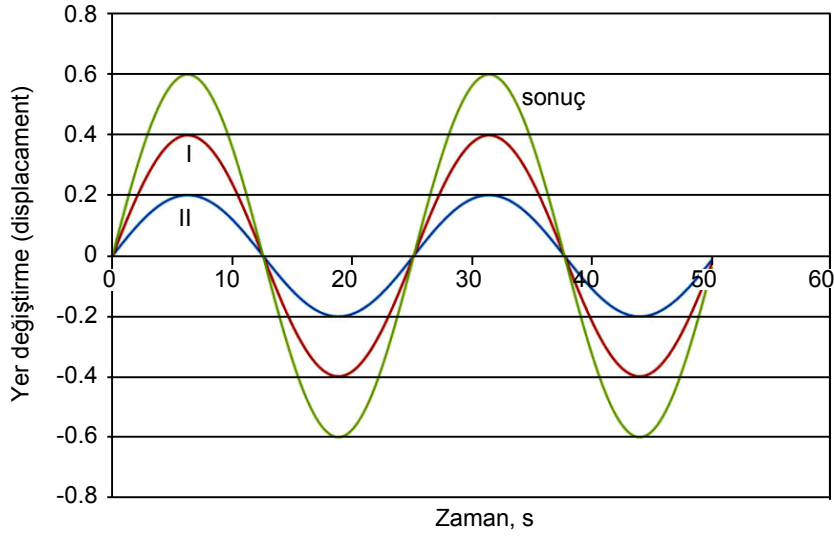
Işınların gelme açısı θ_a dır; kırılma açısı $\theta_b = 90^\circ$ olduğunda, θ_a kritik açı olarak tanımlanır ve $\theta_{krit.}$ olarak gösterilir. Bu durumda Snell kanunu,

$$n_a \sin \theta_a = n_b, \quad \sin 90^\circ = 1 \text{ olduğundan, } \theta_a = \theta_{krit.}$$

$$\sin \theta_{krit.} = \frac{n_b}{n_a} \quad \text{eşitliği elde edilir.}$$

Girişim (Interference)

İki veya daha fazla ışık dalgasının yeni bir dalga görünümü vermek üzere üstüste binmesine "girişim (interference)" denir. Bileşke veya sonuç dalganın tanımlanabilmesi için dalgaların yönü çok önemlidir. Dalgalar faz içindeyse, aşağıdaki Şekil-13'de görüldüğü gibi davranırlar. Sonuç dalgasının genliği, I ve II dalgalarının toplamıdır; bu durum 'olumlu girişim' olarak tanımlanır.

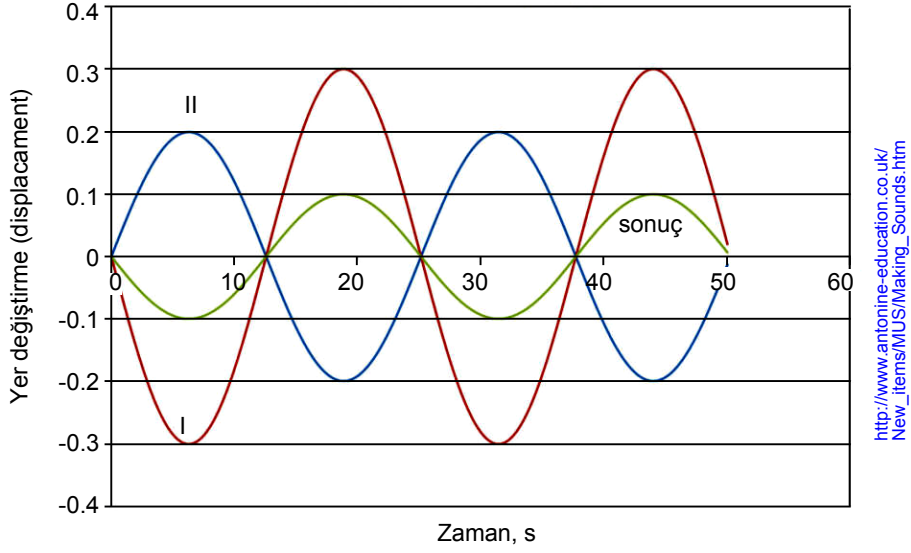


[http://www.antonine-education.co.uk/
New_items/MUS/Making_Sounds.htm](http://www.antonine-education.co.uk/New_items/MUS/Making_Sounds.htm)

Şekil-13: Faz içinde hareket eden iki dalga (I ve II) ve sonuç dalgasının görünümü

İki dalga π radyan düzlem dışında olması durumunda sonuç dalga'nın genliği, her iki dalga'nın genliklerinden daha küçüktür. Bu tür girişim, 'olumsuz girişim'dir. Şekil-14'de görüldüğü gibi büyük dalga'nın (I) genliği 0.3 birim, küçük dalga'nın genliği 0.2 birim olduğunda, sonuç dalga'nın genliği 0.1 birim, yönü büyük dalga'nın yönündedir. Her iki dalga da aynı genlikte olduğunda birbirlerini yok ederler ve sonuç dalga'nın genliği sıfır olur.

İki dalga $\pi/2$ radyan düzlem dışında ise sonuç dalga'nın en yüksek genliğe sahip olduğu konum, iki dalga'nın kesiştiği noktalardır (Şekil-15).



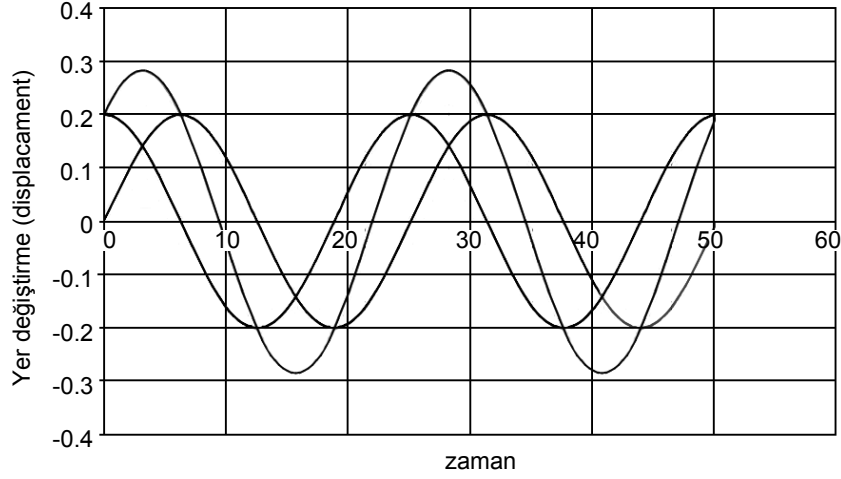
http://www.antonine-education.co.uk/New_items/MUS/Making_Sounds.htm

Şekil-14: π radyan düzlem dışı hareket eden iki dalga (I ve II) ve sonuç dalga'nın görünümü

Fransız matematikçisi Sean Fourier'in (1786-1830) geliştirdiği ve Fourier dönüşümü olarak adlandırılan bir matematiksel işleme göre, bir dalga hareketi basit sinüs veya kosinüslü ifadelerin toplamı ile tanımlanabilir.

$$y = A (\sin 2 \pi vt + 1/3 \sin 6 \pi vt + 1/5 \sin 10 \pi vt + \dots + 1/n \sin 2n \pi vt)$$

Fourier dönüşümü modern bilgisayarlar ile kolaylıkla çözülebilen rutin işlemler haline getirilmiştir.



http://www.antonine-education.co.uk/New_items/MUS/Making_Sounds.htm

Őekil-15: $\pi/2$ radyan dűzlem dıřı hareket eden I ve II dalgaları ve sonuç dalganın gűrűnűmű

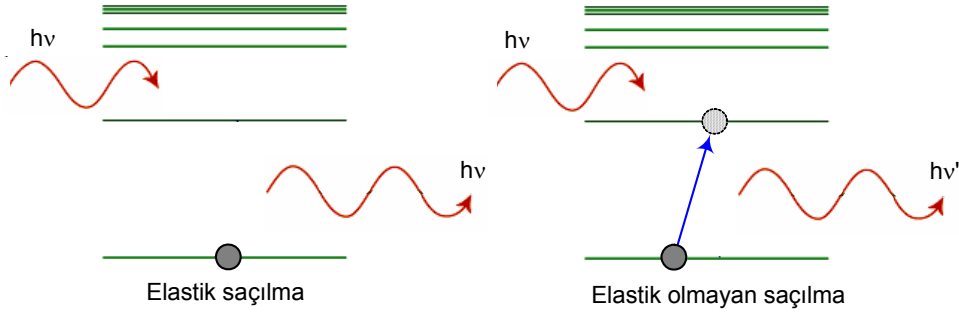
Işının Saçılması (Scattering)

Bir maddeden iřın geçerken maddenin iyonları, atomları veya molekűleri iřının enerjisini çok kısa bir sűre tutarlar ve polarize olurlar; 10^{-14} – 10^{-15} saniye gibi bir sűre sonra tanecikler tuttukları enerjiyi bırakarak orijinal durumlarına dűnerler. Bırakılan iřın her yűndedir. Tanecikler, iřının dalga boyundan daha kűűk ise, orijinal yűnde ilerleyen iřının dıřındakilerin hemen hemen tamamı yok olur. Etkileřimler sonucu iřıęın yolu deęiřmemiř gibi gűrűnűr. Çok dikkatli incelemelerle iřının çok az bir kısmının orijinal yűnűn dıřında, her açıda hareket ettięi gűzlenebilir. İřte bu duruma iřıęın saçılması diyoruz. Saçılan iřıęın řiddeti ortamdaki taneciklerin bűyűklűęű ile orantılı olarak artar. Tanecikler koloidal bűyűklűklerdeyse, saçılma o kadar řiddetlenir ki çıplak gűzle bile izlenebilir (Tyndal olayı).

Elastik Saçılma; Rayleigh Saçılması: Iřının dalga boyundan daha kűűk dalga boylu taneciklerin neden olduęu saçılmaya "Rayleigh Saçılması" denir; řiddeti, taneciklerin bűyűklűęűne ve polarize olabilmesine, ayrıca iřının dalga boyunun

dördüncü kuvvetinin tersine bağlıdır. Rayleigh saçılması, saçılan fotonların enerjileri değişmediğinden elastiktir; Gelen fotonun enerjisi, atomu uyarılmış bir seviyeye geçirmek için çok küçüktür.

Elastik Olmayan Saçılma; Raman saçılması: Raman etkisinde, saçılan ışının bir kısmında frekans değişiklikleri olur. Bu değişiklikler, ortamdaki taneciklerin polarizasyonu ile moleküldeki titreşim enerji seviyelerinin değişmesinden kaynaklanır. Gelen foton, atomun uyarılmış bir hale geçişini sağlayacak yeterli enerjiye sahiptir.



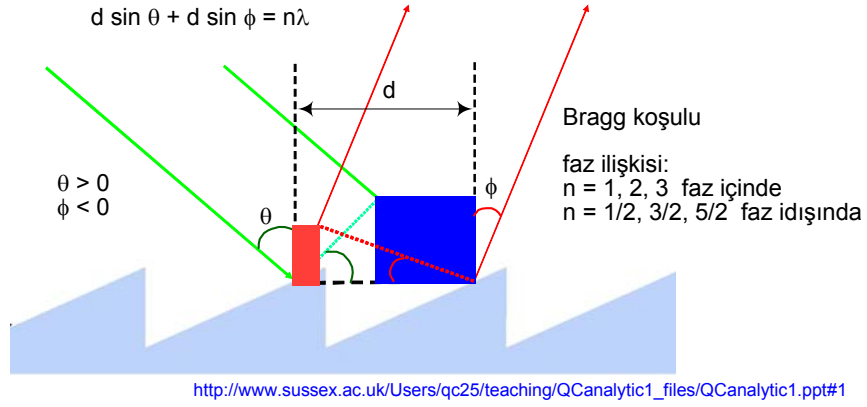
Şekil-16: Rayleigh ve Raman saçılmaları

Kırınım (Difraksiyon)

Işının katı bir maddeye çarpmasıyla meydana gelen difraksiyon saçılmanın, dar bir (veya daha fazla) aralıktan geçmesiyle meydana gelen difraksiyon ise girişim olayının bir sonucudur.

Difraksiyon bir saçılma olayıdır.

X-ışınları bir katı kristale çarptığında her yönde saçılmaya uğrar. Bu yönlerden bazılarında saçılan demetler tamamıyla faz içindedir ve biri bir diğerini kuvvetlendirerek kırınım şekli meydana getirir. Bu durumun hangi koşulda gerçekleşeceği Bragg kanunu ile açıklanır.



Şekil-17: Bragg kanununun şematik tanımı

Bragg kanununa göre, dalga boyu λ olan paralel ve monokromatik bir X-ışını demetinin bir kristal örnek üzerine θ açısı ile geldiği varsayılır; eğer,

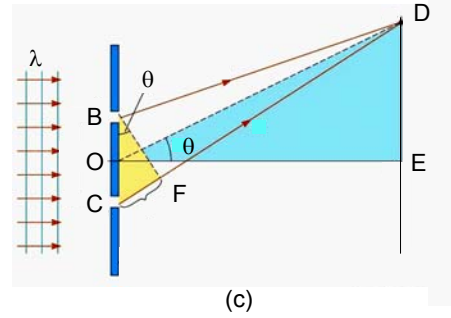
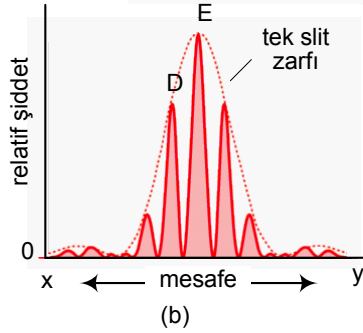
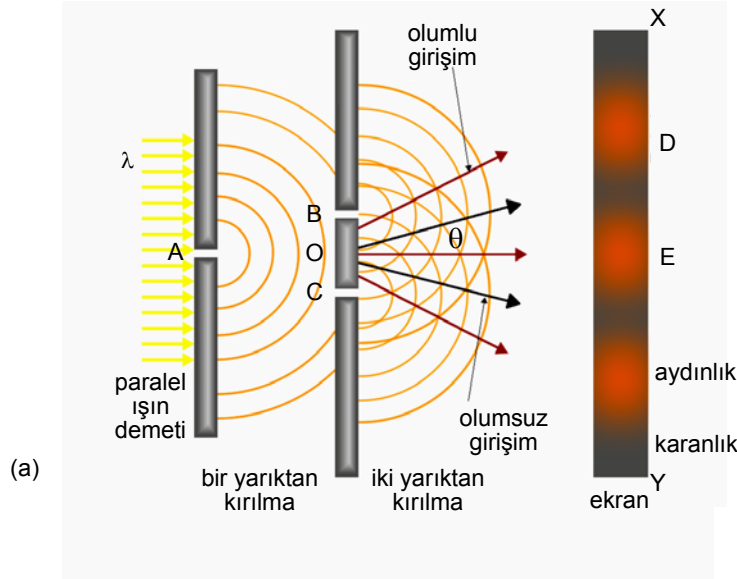
$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} \quad \lambda = 2d \sin \theta \quad \text{ise, difraksiyon meydana gelir}$$

d : atomik düzlemler arasındaki mesafe, n : bir tam sayı ((1, 2, ..., n), λ : dalga boyu, θ : atomik düzlemlerle gelen X-ışını arasındaki açıdır.

Difraksiyon girişim olayının bir sonucudur.

Difraksiyon ve girişim arasındaki ilişki Thomas Young tarafından yapılmış olan bir deneyle (1800) kolayca saptanabilir. Şekil-18(a)'da görüldüğü gibi, paralel bir ışın demeti, büyüklükleri hemen hemen aynı olan birbirlerine yakın durumdaki iki B ve C yarıklarını aydınlatır; bunlardan çıkan ışın XY düzlemi üzerinde bulunan bir ekranda gözlenir.

Işın monokromatik ise sayfa düzlemine dik bir düzlemde bir seri karanlık ve aydınlık şekiller oluşur. Şekil-18(b), ekrana ulaşan çeşitli bantların şiddetlerini göstermektedir. Yarıklık genişlikleri ışının dalga boyuna yakınsa bant şiddetlerindeki düşüş az, daha geniş yarıklar durumunda ise düşüş çok belirgindir.



http://coqt.net/files/jbarton/Double%20Slit%20Experiment_1.png
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/dslit.html>
http://faculty.wiu.edu/P-Wang/Physics_528_Spring_2011/Class_notes/CH9.ppt

Şekil-18: Difraksiyon ve girişim olaylarının şematik görünümleri

B ve C yarıklarını ayıran opak maddenin gölgesinde merkez bandı E'nin bulunuşu, B-E ve C-E mesafelerinin birbirine eşit olmasıyla açıklanır. Böylece iki yaraktan kırılan ışığın, ışık şiddetini artırma etkisi nedeniyle E'deki şiddetli bant oluşur. Bu bant, diğer kısmen zayıf banların (D gibi) oluşumunu da gerçekleştirir.

Şekil-18(c)'den, ışık şiddeti artışının maksimum olma koşulları çıkarılabilir. Kırınım açısı, θ , B ve C yarıklarının tam ortasında bulunan O noktasından (yani yarıklar

arasındaki yarı yol), maksimum şiddetin olduğu D noktasına kadar çizilen noktali çizgi ile normal (OE) arasında kalan açıdır. Kesiksiz çizgilerle gösterilen BD, ve CD, B ve C yarıklarından D noktasına gelen daha zayıf şiddetteki ışık geçişlerini gösterir. **OE** mesafesi, yarıklar arasındaki **BC** uzaklığı ile kıyaslandığında o kadar büyüktür ki pratik uygulamalarda BD, OD ve CD'nin birbirine paralel olduğu varsayılabilir. BF doğrusu ise CD ye diktir ve buradaki BCF üçgeni DOE üçgenine benzer bir üçgendir, dolayısıyla CBF açısı, kırınım açısı θ 'ya eşittir. Buna göre aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$\mathbf{CF} = \mathbf{BC} \sin \theta$$

BC, **OE**'ye kıyasla çok çok küçük, **FD** ile **BD** ise hemen hemen eşit olduğundan **CF**, BD ve CD ışın demetlerinin geçiş uzaklıkları arasındaki farkı gösterir. Bu durumda **CF**, ışının D noktasındaki dalga boyunu belirtir.

$$\lambda = \mathbf{CF} = \mathbf{BC} \sin \theta$$

dır. Dalga boyu λ 'nın tam katları olan değerler de, yani 2λ , 3λ , gibi değerlerde de başka bantlar elde edilir. Bu nedenle dalga boyu denklemi genel bir ifade olarak tanımlanır.

$$n \lambda = \mathbf{BC} \sin \theta$$

n , girişimin mertebesini gösteren bir tam sayıdır. Kırılan demetin ekran düzlemi boyunca doğrusal olarak yer değiştirmesi **DE**, yarıklar arasındaki **BC** açıklığına ve yarıkların bulunduğu düzlemle ekran arasındaki **OE** mesafesine bağlıdır. Bu nedenle,

$$\mathbf{DE} = \mathbf{OD} \sin \theta$$

$$n \lambda = \frac{\mathbf{BC DE}}{\mathbf{OD}} \cong \frac{\mathbf{BC DE}}{\mathbf{OE}}$$

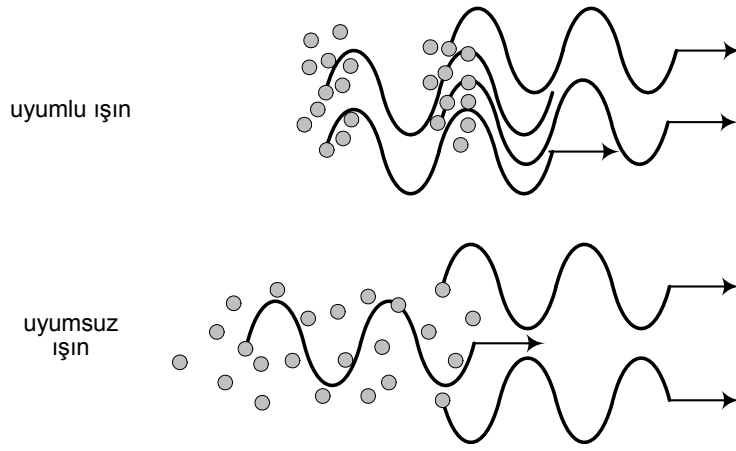
Bu eşitlikten **BC**, **DE**, **OE** ölçülebilen değerler olduğundan ışığın dalga boyu hesaplanabilir.

Uyumlu Işın

Şekil-18(a)'da görüldüğü gibi bir kırınım şekli elde edebilmek için, B ve C yarıklarından geçerek ekran üzerinde, mesela D veya E gibi bir noktaya giden elektromagnetik dalgaların faz farkının belirli ve zamanla değişmemesi, sabit kal-

ması gerekir. Bu durumda B ve C yarıklarından geçen ışın "uyumlu"dur. Uyumluluk koşulları:

- Her iki ışının aynı frekansta ve aynı dalga boyunda olması (veya aynı frekanslar ve aynı dalga boyları aralığında),
- İki ışın demeti arasındaki faz ilişkisinin sabit olması, zamanla değişmesidir.



Şekil-18(a)'daki B ve C slitlerinin ayrı filament lambalarla aydınlatılması halinde, önceki denemede ekran üzerinde görülen ve bir düzen içinde sıralanan aydınlık ve karanlık şekillerin kaybolduğu, yerini düzensiz bir aydınlatmanın aldığı görülür. Bu, filament kaynakların "uyumsuz" karakterleri nedeniyle ortaya çıkar.

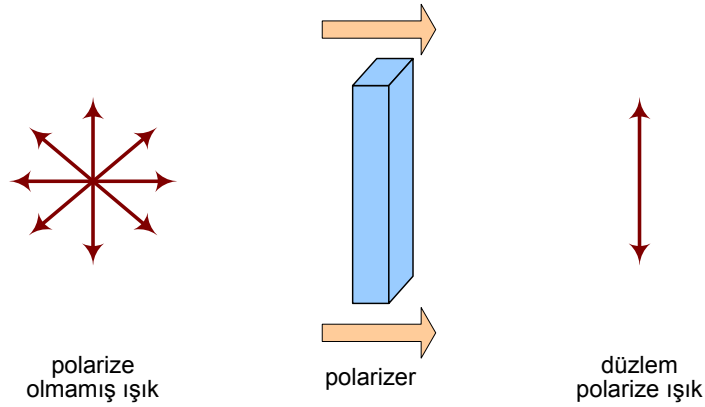
Uyumsuz kaynaklarda, her bir atom veya molekül tarafından yayımlanan sayılamayacak kadar çok ışık bir araya gelerek ışın demetini oluştururlar. Bu tip bir ışın demeti mikrodalgalar ve lazer ışınlarında da olduğu gibi, boyu birkaç metre olan bir seri "dalga katarı" dır. Bir katarın üretilmesi rasgele bir işlem olduğundan, katarlar arasındaki faz farkları da değişkendir. B yarığında ekrana ulaşan bir dalga katarı, C yarığında gelen katar ile aynı fazda bulunabilir ve girişim kuvvetlenir (olumlu girişim); tersine aynı noktada katarlar tamamıyla faz dışında olabilirler ki bu halde girişim zayıflar (olumsuz girişim). Böylece ekran üzerindeki her noktada-

ki ışık, dalga katarları arasındaki rasgele faz değişikliklerinin hakimiyeti altında bulunur. Sonuçta katarların ortalamasını yansıtan bir aydınlatma oluşur.

Sonsuz uzunlukta ve sabit frekanslı katarlar şeklinde elektromagnetik ışın üreten kaynaklar vardır. Radyo frekanslı osilatörler, mikrodalga kaynakları, optik lazerler, ve çeşitli mekanik kaynaklar bunlar arasında sayılabilirler. Bu tip kaynaklardan iki tane (B ve C için) kullanılarak Şekil-18(a)'daki gibi düzenli bir kırınım şeması elde edilir. Tungsten filament kullanılarak bu kaynakla da Şekil-18(a)'daki kırınım şeması bulunabilir. Bunun için kaynağın önüne çok dar bir A yarığı konur. A yarığı, kaynaktan gelen ışının sadece çok küçük bir bölgesini B ve C ye geçirir. Bu koşullarda B ve C den yayılan çeşitli dalga katarları, birbirleri ile belirli faz ilişkilerinde ve sabit dalga boylarında, yani uyumlu karakterdedirler. Eğer A yarığı bir miktar genişletilirse, ışık kaynağından daha geniş bir bölge geçirileceğinden B ve C'de oluşan iki ışın demeti birbiri ile kısmen uyumlu olacağından kırınım şeması biraz bozulur. A yarığının daha fazla genişletilmesi halinde ise, ışın demetlerinde uyumsuzluk hakim olur ve ekran boyunca sadece aydınlatma olayı meydana gelir.

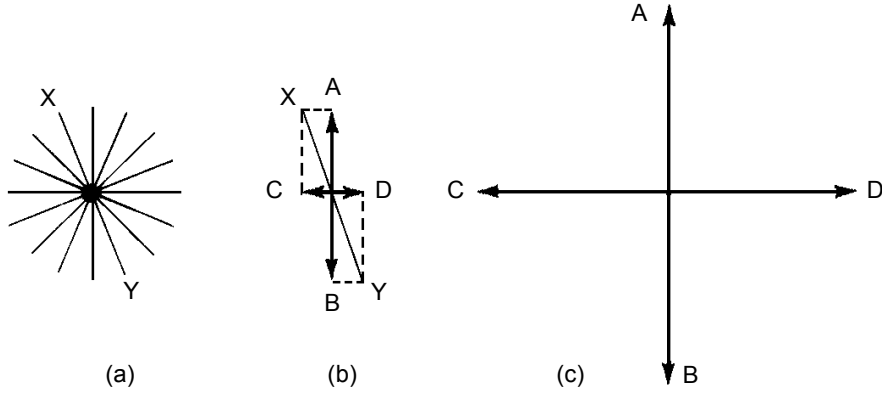
Işının Polarizasyonu

Düzlem Polarizasyonu



Şekil-19: Polarize olmamış ışık tüm E (elektrik) vektörleri içerirken, düzlem-polarize ışık tek bir E-vektör yönünü içerir

Bir elektromagnetik dalga paketi gibi düşünülen herhangi bir ışında oluşan titreşimlerin, merkezleri ışın demetinin yolu üzerinde bulunan bir seri düzlem üzerinde eşit olarak dağıldığı varsayılır. Bu halde, bir monokromatik demetin, uzunluğu sıfırdan başlayarak maksimum bir genliğe kadar dalgalanan sonsuz sayıdaki elektrik vektörlerinden oluştuğu kabul edilir.



Şekil-20: (a) Sayfa düzlemine dik yönde hareket eden bir ışın demetinin elektrik vektörleri, (b) XY düzlemindeki bir vektörün iki dik bileşenine ayrılması, (c) tüm vektörlerin ayrılmasıyla elde edilen sonuç

Elektrik vektörleri Şekil-20(a)'daki gibi bir görünüm verirler. XY gibi her hangi bir düzlemdeki vektör iki dik parçaya ayrılabilir; Şekil-20(b)'deki AB ve CD gibi. Her bir düzlemde bulunan benzer iki parçanın birleştirilmesi sonucunda da Şekil-20(c)'deki AB ve CD vektörlerini bulunduran iki düzlem elde edilir. Bu düzlemlerden birinde bulunan ışın demetinin uzaklaştırılması sonucunda diğer düzlemden çıkan ışın demeti "düzlem-polarize" ışındır ve tek bir düzlem üzerinde bulunur. Bir düzlem polarize ışık demeti elektrik vektörünün titreşimi, ortamda tek bir düzlem üzerinde bulunur.

Düzlem-polarize elektromagnetik ışın bazı kaynaklardan elde edilebilir. Örneğin bir antenden çıkan radyo dalgaları genellikle bu karakterdedir. Tek bir atom veya molekülden çıkan ışının da düzlem-polarize olduğu sanılmaktadır. Genel ışık kaynaklarında her yönde hareket eden çok sayıda tanecik bulunduğundan sonuçta

ışık yolu eksenini etrafında her yönde eşit olarak titreşen bir ışık demeti ortaya çıkar.

Işının bazı maddeler tarafından absorblanması onun polarizasyon düzlemine bağlıdır. Örneğin, bir ışın demetine karşı özel bir konumda yerleştirilen anizotropik kristaller seçimli olarak bir düzlemde titreşen ışınları absorblar. Böylece anizotropik kristallerin bir tabakası, Şekil-20(c)'deki gibi bir sistemden, mesela, CD'de bulunan tüm ışınları absorblarken AB'dekilerin hemen hemen tamamını geçirir. Bir polarizasyon levhası, polarize olmamış bir ışık demetinden gelen ışınların yarısını uzaklaştırır, diğer yarısını ise geçirir. Geçirilen kısım, düzlem-polarize ışınlardır ve bunların polarizasyon düzlemi, gelen ışın demeti önüne konan polarizasyon levhasının konumuna bağlıdır. Birbirlerine göre 90^0 açı yapan iki polarizasyon levhasının ışın demeti yolu üzerine dik olarak yerleştirilmesi halinde ışın geçişi olmaz. Levhalardan biri döndürülmeye başlandığında ışın geçişinin de başladığı, iki levhanın aynı yöne geldiği anda ise, ışın geçişinin maksimum olduğu görülür.

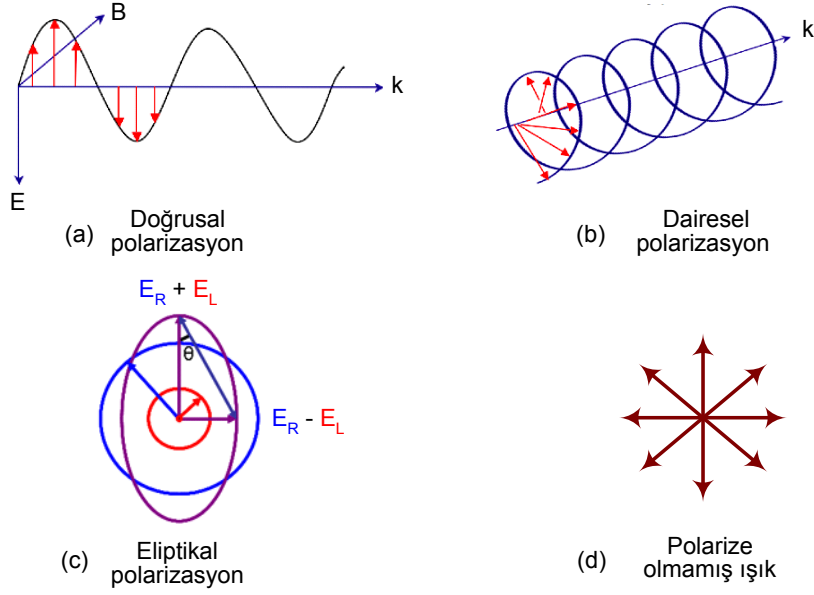
Işının bazı maddeler tarafından yansıtılması, saçılması, geçirilmesi, veya kırılması olayları da polarizasyon yönüne bağlıdır. Bu özellikler dikkate alınarak refraktometre, polarimetre gibi cihazlarla gerçekleştirilen bazı analitik yöntemler geliştirilmiştir.

Polarizasyonun Sınıflandırılması

Doğrusal Polarizasyon: Bir düzlem elektromagnetik dalga doğrusal olarak polarize olur. Enine elektrik alan dalgası bir magnetik alan dalgası eşliğinde hareket eder (Şekil-21a).

Dairesel Polarizasyon: Dairesel polarize ışık, genlikleri eşit iki dik elektromagnetik düzlem dalgadan oluşur (faz içinde 90^0 farklı) (Şekil-21b)

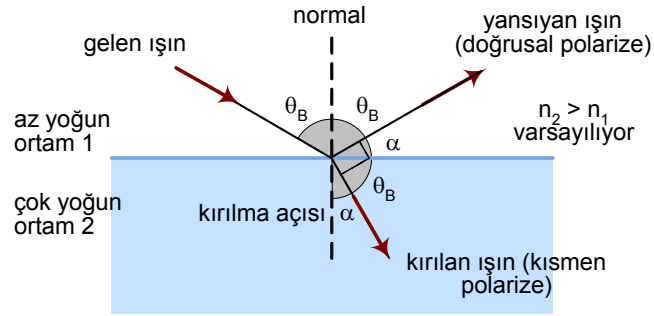
Eliptik Polarizasyon: Eliptik polarize ışık, genlikleri eşit olmayan iki dik dalgadan oluşur (faz içinde 90^0 farklı) (Şekil-21c)



Şekil-21: Çeşitli polarizasyonların şematik tanımları

Yansımayla Polarizasyon

Işın bir arayüzeye çarptığında 90° 'lik bir açıyla yansır ve kırılır; yansıyan ışın doğrusal polarize bir ışındır.



Şekil-22: Yansımayla polarizasyon

Polarizasyonun yönü arayüz düzlemine paraleldir. Bu 90° 'lik özel açığa Brewster açısı (θ_p) denir. Brewster açısı (aynı zamanda polarizasyon açısı olarak da bilinir) ışının özel bir polarizasyonla hiç bir yansıma olmaksızın yüzeyden geçebildiği bir açıdır.

$$\text{Brewster açısı } (\theta_p) = \tan \theta_B$$

Bu ifade Snell yasasından çıkarılabilir.

Snell yasası,

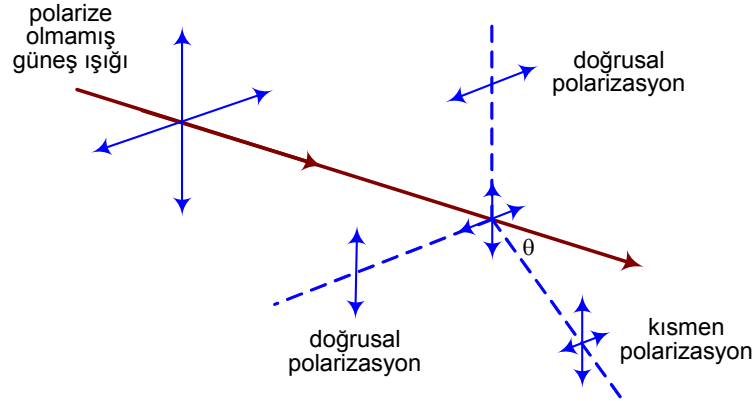
$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin \alpha = n_2 \cos \theta_B$$

Buradan Brewster eşitliği elde edilir.

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_B}{\cos \theta_B}$$

Saçılmayla Polarizasyon

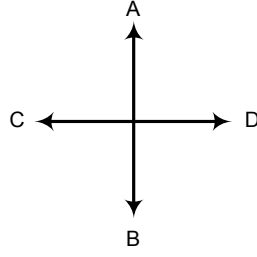
Hava moleküllerinde saçılan ışık gelen ışına dik bir düzlemde doğrusal olarak polarize olur. Bir moleküldeki yükler y eksenini boyunca salınıyorsa, y ekseninde ışımaz. Böylece, demet yönünden 90° uzakta saçılan ışık doğrusal olarak polarize olur. Bu durum mavi gök yüzünden Rayleigh saçılmasına uğrayan ışığın kısmen polarize olmasına neden olur. Işığın atmosferde saçılması $1/\lambda^4$ ile orantılıdır. Moleküller, dipol radyatörü gibi davranır ve dipol eksenini boyunca enerji saçılmaz



Şekil-23: Saçılmayla polarizasyon

Absorbsiyonla Polarizasyon

Işının bazı maddeler tarafından absorblanması onun polarizasyon düzlemine bağlıdır. Örneğin, bir ışın demetine karşı özel bir konumda yerleştirilen anizotropik kristaller seçimli olarak bir düzlemde titreşen ışınları absorblar. Böylece anizotropik kristallerin bir tabakası, aşağıdaki şekildeki gibi bir sistemden, mesela, CD'de bulunan tüm ışınları absorblarken AB'dekilerin hemen hemen tamamını geçirir. Bir polarizasyon levhası, polarize olmamış bir ışık demetinden gelen ışınların yarısını uzaklaştırır, diğer yarısını ise geçirir. Geçirilen kısım, düzlem-polarize ışınlardır ve bunların polarizasyon düzlemi, gelen ışın demeti önüne konan polarizasyon levhasının konumuna bağlıdır.



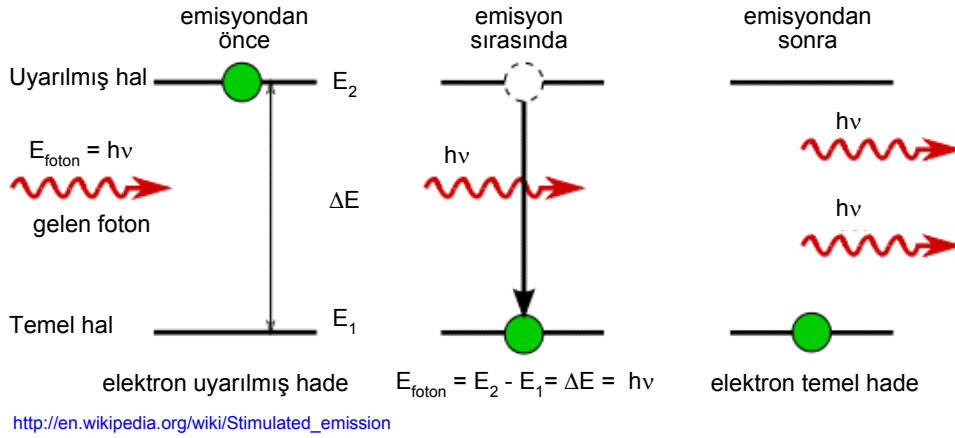
Birbirlerine göre 90° açı yapan iki polarizasyon levhasının ışın demeti yolu üzerine dik olarak yerleştirilmesi halinde ışın geçişi olmaz. Levhalardan biri döndürülmeye başladığında ışın geçişinin de başladığı, iki levhanın aynı yöne geldiği anda ise, ışın geçişinin maksimum olduğu görülür.

Bazı kristalin maddeler, bir gelme düzleminde, diğerine göre daha fazla ışın absorblar; sonuçta maddeden geçen ışın ilerledikçe daha da çok polarize olur. Absorbsiyondaki bu anizotropiye dikroizm denir. Birkaç doğal dikroik madde vardır ve ticari polaroid de seçici absorbsiyonla polarize olur.

İŞİNİN KUVANTUM ÖZELLİKLERİ

a. Lazerler (Light Amplification Stimulated Emission Radiation)

Bir lazerin çalışması için kritik olay üst enerji seviyesinde bir elektronun varlığıdır. Bir üst seviyedeki elektron (E_2), aşağıdaki şemada görüldüğü gibi, E_1 ve E_2 enerji seviyeleri arasındaki farka eşit bir kvantum enerjisi ($h\nu$) uygulandığında E_2 enerji seviyesinden aynı enerjide ikinci bir foton yayarak E_1 seviyesine geçer. Foton prosesiyle meydana gelen bu tür geçişler absorpsiyon, emisyon ve uyarmalı emisyon olarak adlandırılır.

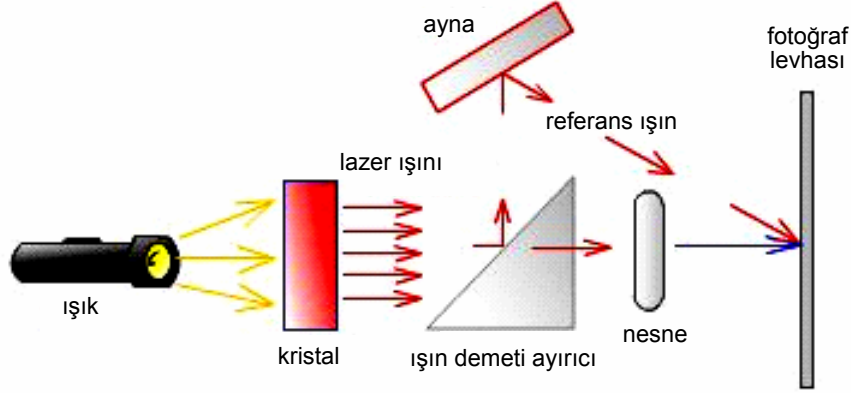


Şekil-24: Uyarılmış (stimulated) emisyon

b. Holografi

Holografi 'merceksiz fotoğrafıdır; bu teknikte görüntü resim olarak değil film üzerinde bir girişim şekli olarak görüntülenir. Örneğin, bir lazerden gelen ışın (uyumlu ışın) görüntüsü alınacak objeden yansır ve film üzerinde, referans bir ışın demetinden gelen ışıkla birleşir. Kaydedilen girişim şekli, odaklanan bir görüntüden çok daha fazla bilgi içerir, gözlemciye doğru bir üç boyutlu görüntü sunar.

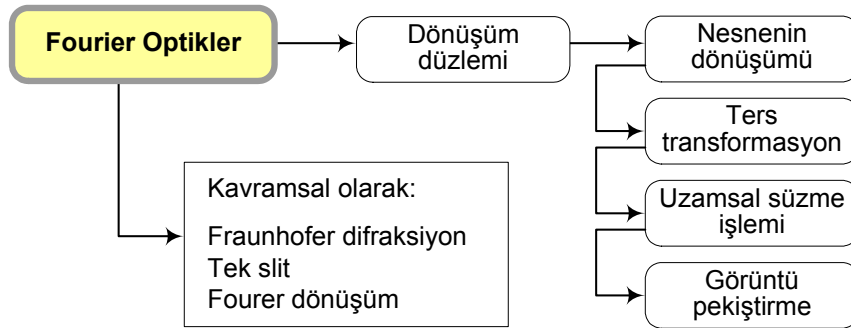
Aşağıdaki şekilde bir holografının şematik görünümü verilmiştir.



<http://ifeos.wordpress.com/2008/05/23/holographic-properties/>

c. Fourier Optikler

Fourier Optiklerde, nesnenin görüntüsünün bir difraksiyon paternine dönüştürülmesi için nesne ile dönüşüm (transform) düzlemi arasında bir mercekle bulunur. Nesnenin dönüşümünden sonra ikinci bir mercekle vasıtasıyla ters transformasyon, bunu takiben de nesne görüntüsünü yeniden oluşturacak uzamsal (mekansal) süzme işlemi yapılır. Son aşama tamamlama prosesi olup görüntü (resim) pekiştirme olarak adlandırılır.

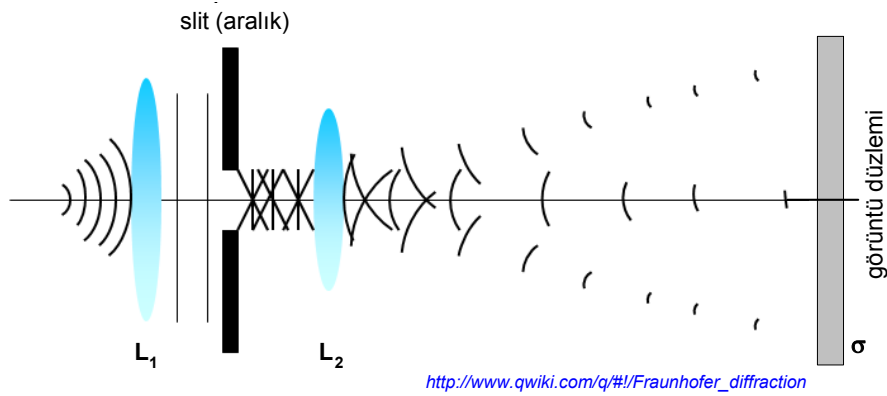


Fourier optikler ışığın hareketini Fourier analiziyle açıklar. Bunun için Fresnel ve Fraunhofer difraksiyon bilgilerini kullanır.

Fresnel (veya yakın-alan) difraksiyonda, bir aralıktan geçen bir dalga yakın bir alanda kırılarak bir difraksiyon paterni oluşturur. Oluşan patern aralık ve görüntü düzlemi arasındaki mesafeye bağlı olarak farklılıklar gösterir.

Fraunhofer difraksiyon prosesi, nesne (object) düzlemindeki sliti görüntü düzleminde bir difraksiyon paternine dönüştürür. Bu difraksiyon paterni slit hakkında bilgiler içerir. Kaynak mesafesinin sonsuz olduğu varsayıldığında slitte düzlem dalga vardır, dolayısıyla dalga elementleri faz içindedir. Fraunhofer difraksiyon paterni kırınım nesnesinin Fourier dönüşümüdür.

Bir dalganın difraksiyonu ve σ noktasındaki durumu aşağıdaki diyagramda görülmektedir. σ noktasının daha uzağa çekilmesi halinde uzak-alanda Fraunhofer difraksiyon oluşur.



F = Fresnel sayısı

Fresnel difraksiyon koşulu:
$$F = \frac{a^2}{L \lambda} \geq 1$$

Fraunhofer difraksiyon koşulu:
$$F = \frac{a^2}{L \lambda} \ll 1$$

λ = dalga boyu, L = aralıktan olan mesafe, a = slit boyutu

[Yararlanılan Kaynaklar](#)

Principles of Instrumental Analysis, D.A.Skoog, D.M. West, II. Ed. 1981