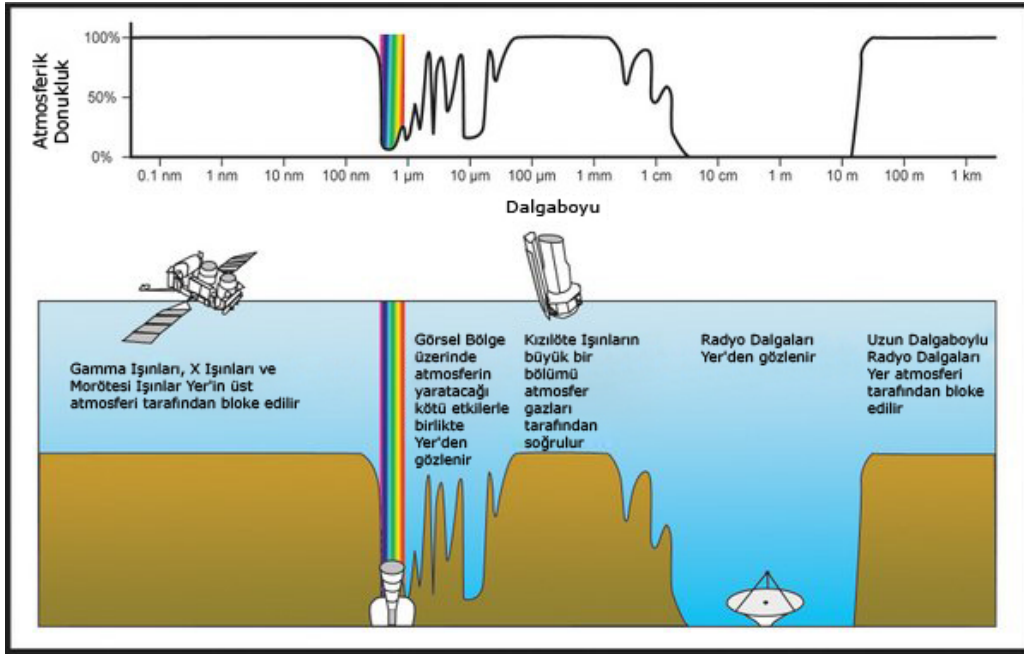


## 1. DEDEKTÖRLER (ALGILAYICILAR)

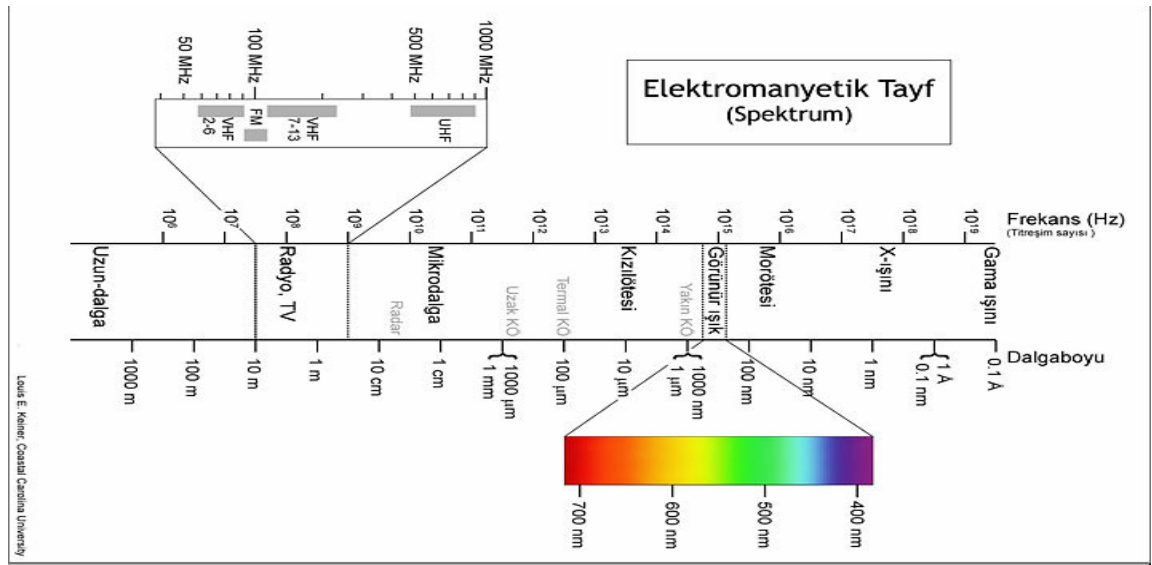
Elektromanyetik tayf, gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar olası tüm frekanslardaki (dalgalı boylarındaki) elektromanyetik ışınımın (dalgaların) dağılımıdır. Bu ışınım, temel olarak foton-atom etkileşimi ile ortaya çıkar. Ancak bu elektromanyetik dalgaların bir çoğu Dünya atmosferi tarafından soğurulmaktadır ve elektromanyetik ışınımın sadece belirli frekanslarına (dalgalı boyu) sahip ışınımının yer yüzeyine ulaşmasına izin vermektedir. Biz buna “Atmosferik Pencere” diyoruz. Yer atmosferi 300nm-1000nm dalgalı boyundaki ışınımın geçmesine izin verir. Yüksek enerjili UV ışınları Yer atmosferindeki ozon ve moleküller tarafından soğurulur, X-ışınları atmosferdeki atomlar tarafından soğurulur ve gama ışınları ise çeşitli atom çekirdekleri tarafından soğurulur. Uzun dalgalı boyuna sahip radyo dalgaları ise Yer atmosferini saran iyonosfer katmanından geri yansıtılır. Ancak birkaç milimetreden-birkaç metreye kadar olan radyo dalgaları hiç soğurulmadan Yer atmosferini geçebilir. Yakın kızılöte ve milimetre dalgalı boyuna kadar olan ışınım ise üst atmosferimizdeki su buharı ve karbondioksit tarafından soğurulmaktadır. O halde Atmosferik Pencereyi iki kısma ayırabiliriz; 1mm - 30 m arası radyo pencere ve 300nm - 1000nm dalgalı boyu aralığını kapsayan optik pencere.



Şekil 1. Atmosferik geçirgenlik

Optik pencere veya bir başka deyişle Görülebilir pencere, gözün duyarlılık eğrisine yakın olduğu bir bölgedir. Yani optik pencere gözün algılayabildiği dalgalı boyu aralığı içerisinde yer alır ve insan gözü bizim bugüne kadar bildiğimiz en eski dedektördür. Ancak yakın bir zamana kadar en iyi

olduğunu düşündüğümüz dedektörümüzün aslında yetersiz bir ışık algılayıcısı olabileceğini bilmiyorduk. 1900'lü yıllardan bu yana hızla gelişen teknolojiye paralel olarak bilim insanlarının vizyonu da çok değişti. Gelişen teknoloji ile birlikte göz'den daha iyi ışık toplama ve saklama yeteneğine sahip algılayıcılar geliştirildi. Bunun bir sonucu olarak, astronomların çalışma alanları genişledi ve çeşitlendi. Peki dedektör dediğimiz şey nedir? Dedektörler, elektromanyetik dalga formundaki enerji akışını ölçülebilir niceliklere çeviren ve kayıt edilmesini sağlayan cihazlardır. Örneğin ışınım akışını (fotonlar) elektrik sinyallerine (foto elektrona) çeviren ışıkölçerler (fotometreler) gibi.



Şekil 2 Elektromanyetik tayf.

Astronomide ideal dedektör,

- Bütün dalgaboylarında gelen her fotonu algılayabilen,
- Gelen bütün fotonları tek tek sayabilen,
- Bu sayının kaydedilip, işlenmesine olanak sağlayan,
- Uzun zaman süreleri boyunca kararlı,
- Algılama yüzeyi sonsuz geniş,

bir cihaz olarak tanımlanır. Bu özellikleri sağlayabilen bir dedektör yoktur. Ancak bu özellikleri tanımlayan ve bir dedektörün ideal dedektöre yakınlığını ifade etmekte kullanılan parametreler bulunmaktadır.

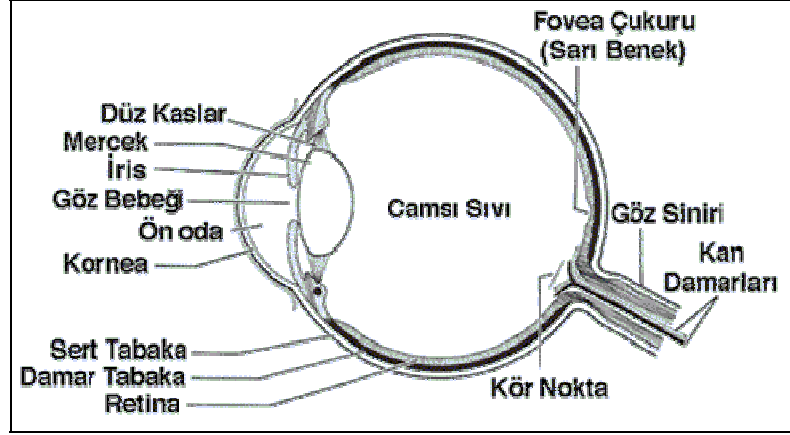
1. **Kuantum Etkinliği**; bir dedektörün üzerine düşen ışınım miktarına ne kadarına yanıt verdiğini ifade eder. Genelde QE ile gösterilir ve  $QE = \frac{\text{ölçülen foton sayısı}}{\text{gelen foton sayısı}}$  ile tanımlanır.
2. **Tayfsal Yanıt**; bir dedektöre farklı dalgaboylarında fakat eş enerjili yani yeğinliği eşit ışınlar gönderdiğimizizde, çıkışında elde edilen yanıt dalgaboyuna göre değişecektir. Yani dalgaboyuna göre dedektörümüzün yanıt verme verimliliğini tanımlar.
3. **Doğrusallık**; bir dedektörün çıktı sinyali, gelen ışık miktarıyla doğru orantılıysa bu dedektör için “doğrusaldır” denir. İdeal bir dedektör için, gelen foton sayısı ile çıktı sinyali düzeyi arasındaki ilişkinin tüm dalgaboyları için doğrusal olması beklenir.
4. **Dinamik Aralık**; dedektör çıkışında, kayıpsız ölçülebilen maksimum ve minimum sinyal seviyeleri arasındaki orandır. Dedektörün en yüksek ve en düşük sinayli eşzamanlı ölçebilme yeteneğini ortaya koyar.
5. **Gürültü**; ideal olarak, çıktı sinyali gelen foton sayısı ile doğru orantılı olmalıdır. Ancak çıktı sinyalinde daima belirsizlikler olacaktır. Bu belirsizlikler genelde “Gürültü” olarak adlandırılır. Temel gürültü kaynakları: (1) Gözlenen kaynaktan gelen foton gürültüsü, (2) Gök arkanan foton gürültüsü ve (3) Aletsel gürültü. Bu belirsizlik Sinyal/Gürültü Oranı (S/N) parametresi ile ölçülür.
6. **Ayrıma Gücü**; bir dedektörün üzerinde oluşan görüntüde iki yakın cisimi ayırt edebilme yeteneğidir. Teleskop ve benzeri optik cihazlarla bütünleşik çalışan dedektörlerde hem optik cihazın hem de dedektörün ayrıma gücü yeteneklerinin bileşkesi sonuç bir ayrıma gücü oluşturur.

Dedektörlerin karakteristik özelliklerine ilişkin bu kısa bilgiden sonra şimdi astronomide en sık kullanılan dedektörlere bir bakalım.

## 2. GÖZ

İnsan gözü bilinen en temel dedektördür (bkz. Şekil 3). Göz, bir görüntü toplayıcı (lens), birçok ışık algılayıcısı (retina) ve görüntüyü gerçek zamanlı işleyen bir bilgisayar (beyin) gibi mekanizmalardan meydana gelir. İnsan gözünün retinasında dört tür algılayıcı vardır; yüksek hassasiyette siyah ve beyaz görebilmeyi sağlayan Rod hücreleri ve renkli görmemizi sağlayan üç tür (Mavi, Yeşil, Kırmızı) Konik hücreler. Göz tarafından algılanan ışık, retinada sinirsel sinyallere dönüştürölüp, optik sinir aracılığıyla beyine iletilir. Göz, üç temel birleştirici renk

olan; kırmızı, sarı ve yeşile tepki verir ve beyin, diğer renkleri bu üç rengin farklı kombinasyonları olarak algılar. Renklerin algılanışı dış koşullara bağlı olarak değişir. Aynı renk güneş ışığında ve mum ışığında farklı algılanacaktır. Fakat, insanın görme duyusu çevresel ortama uyum sağlayarak, her iki koşulda da aynı rengin algılanmasını sağlar.

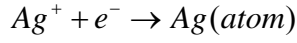
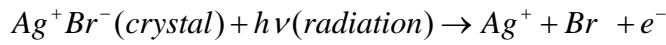


Şekil 3. Göz'ün temel yapısı.

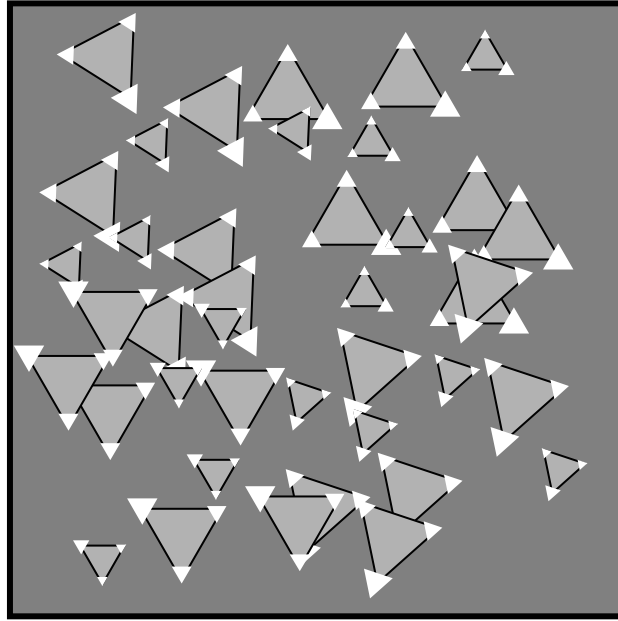
Göz tek bir lensten oluşmasına karşın, gelen ışık miktarına bağlı olarak biçimi değişebilir. Lens, görüntüyü retina üzerinde ters olarak oluşturur ve beyin görüntüyü tekrar ters çevirerek doğru konumuna getirir. Göz görüntüyü saniyede 30 kez çok hızlı biçimde beyine gönderir ve sanki bir video kamera gibi işler. Göz-beyin kamera sisteminin en büyük özelliği çok yüksek bir kontrast oranına sahip olmasıdır (kontrast oranı 1:1000000). Bunun anlamı görüntüdeki çok ince bir yapıyı dahi algılayabilmesidir. Göz, bir saate kadar bir zaman içerisinde düşük ışık seviye durumlarına göre kendini ayarlayabilir. Ortam karanlıksa bu sürece “karanlığa uyum” (dark adaptation) denir. Karanlığa adapte olmuş bir göz kırmızı ışığa en az duyarlıdır. Gözün kabaca açılma gücü 1 yaydakikası kadardır. Ancak karanlığa adapte olmuş bir gözde bu değer 14 yay-saniyesine kadar inebilir. Göz, dalgaboyu 390 nm'den daha kısa ve 780 nm'den daha uzun dalgaboyundaki ışınları algılayamaz ve bu limit bize evrenin seçimli (taraf) görüntüsünü verir. Göz, yüksek çözünürlüğüne, geniş tayfsal yanıt ve büyük dinamik aralığına karşını gelen ışığın çok az bir kesrini algılaması, ışığı biriktirememesi ve bir çıktı olarak kaydedememesi bakımından dezavantajlı bir dedektördür. Göz için bir kuantum etkiliği (QE) değeri vermek mümkün değildir. Ancak gözün görme limiti olan altıncı kadirde bir yıldız için bir hesap yapılırsa, gözün saniyede 100-200 foton algıladığı söylenebilir.

### 3. FOTOĞRAF PLAĞI

Fotoğrafçılık 1840'lı yıllarda keşfedildi. Ancak 1900'lü yılların başından itibaren astronomide yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Temel mantığı, cam üzerine jelatin emülsiyonla yapıştırılmış ince gümüş karışımı (AgBr) plakaların ışık ile etkileşmesine dayanmaktadır. Mikron boyuntundaki AgBr kristalleri (grenler) üzerine bir ışık düştüğünde, ışık bu kristaller tarafından soğurulur. Gümüş iyonları serbest kalır ve bir elektronla birleşerek bir gümüş atomu oluşturur.



Bu gümüş karışımındaki serbest gümüş atomları plaka üzerinde gizli bir görüntü oluşturur. Gizli görüntüler daha sonra özel solüsyonlarla işlenir (banyo edilir) ve görüntü ortaya çıkarılır.



Şekil 4 Fotoğraf plağın küçük bir kesit alanının büyütülmüş gösterimi.

Şekil 4'teki gibi fotoğraf plağının küçük bir kesit alanının büyütülmüş görüntüsü incelendiğinde, plaka üzerindeki kristal taneciklerin boyutlarının farklı olduğu, homojen dağılmadığı ve tüm yüzeyi kaplamadıkları görülür. Bu nedenle fotoğraf plağı üzerinde daha büyük taneciklerin üzerine düşen ışınlar daha fazla foton soğuracaklardır. Bu da elde edilen

görüntüyü keskinlikten uzaklaştıracak daha bulanık görünmesine neden olacaktır. Daha küçük tanecikler daha yüksek ayırma gücüne ulaşılmasını sağlar. Bu nedenle bu taneciklerin boyutu kullanılan fotoğraf plağının uzaysal ayırma gücü limitini belirler. Fotoğraf plağının üzerindeki tanecikler ışığa lineer olarak yanıt vermez. Bunun yanı sıra çok zayıf bir ışık bile görüntünün satüre olmasına neden olabilir. Modern fotoğrafik emülsiyonlar insan gözüne göre daha geniş dalgaboyu aralığına duyarlıdır; günümüzde moröteden yakın kızılöteye kadar geniş bir tayfsal aralığı kapsayan fotoğrafik plaklar bulmak mümkündür.

#### 4. FOTOKATLANDIRICI TÜP

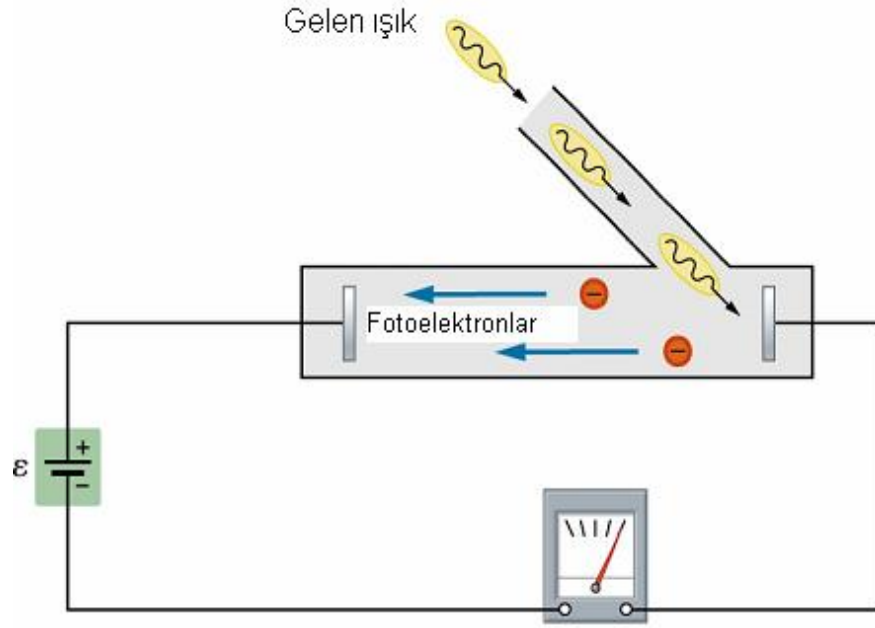
Fotokatlandırıcı tüpün çalışma biçimini anlamak için öncelikle fotoelektrik olayı anlamamız gerekir. 17. ve 18. yüzyılda Christiaan Huygens (1629-1695), Isaac Newton (1642-1727) ve Michael Faraday (1791-1867), ışığın doğası ile ilgili yaptıkları deneylerde, ışığın madde ile etkileşen bir enerji formu olduğunu ve dalga olarak yayıldığını gösterdiler. 19. yüzyılda Max Planck (1858-1947) yaptığı deneylerde ışığın tanecikmiş gibi davrandığını fark etti. Işık sadece belirli miktarda bir enerjiyi kuantum denem küçük paketçiklerle taşımakta.  $\nu$  frekansındaki bir ışık için kuantum enerjisi ;

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

ile verilir. Burada  $h$  sabiti Planck sabiti olarak bilinir ( $=6.626 \times 10^{-34}$  Jsn). 1900'lü yılların başında Albert Einstein (1879-1955) fotoelektrik olay üzerinde yaptığı çalışmada enerji paketleri halinde gelen ışığın sanki birer parçacıkmiş gibi davrandığını gösterdi. Einstein bu enerji paketlerini foton olarak adlandırdı. Fotoelektrik olay adını verdiği bu deney aslında, bir kaynaktan yayılan ışık veya daha yüksek enerjili elektromanyetik dalganın (morötesi ışın veya x-ışını) bir madde (metaller, metal olmayan katılar, sıvılar veya gazlar) yüzeyine düşmesi sonucu maddeden elektron yayınlanması olayıdır. Maddeden yayınlanan bu elektronlar “fotoelektron” olarak adlandırılır. Buna göre bir foton bir metal yüzeye çarptığı zaman o yüzeyden bir foton yayılır. Enerjinin korunumu yasası gereği, şu ilişki ortaya çıkar: Çarpışmadan önceki toplam enerji= Çarpışmadan sonraki toplam enerji

$$KE_e = E_{\text{foton}} - W = h\nu - W$$

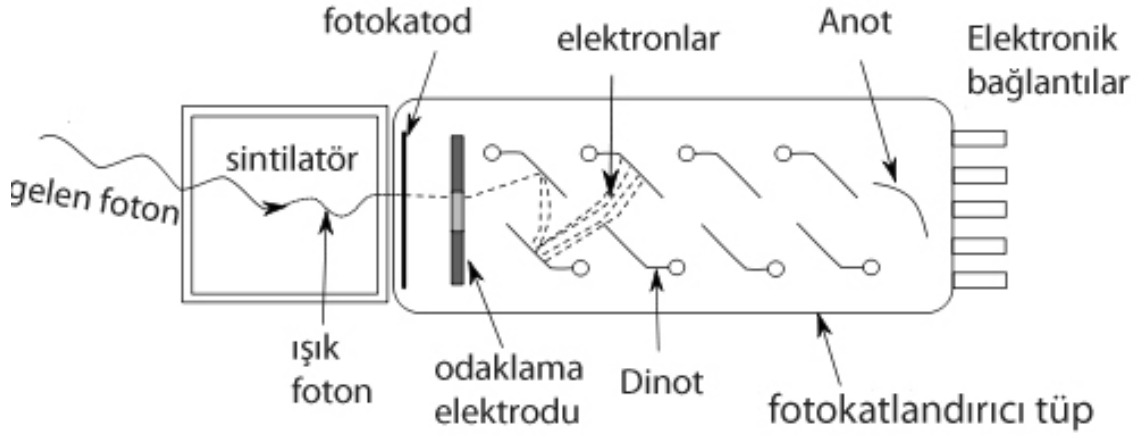
Burada  $K_{Ee}$  fotoelektronun kinetik enerjisi,  $W$  metalin eşik enerjisi veya iş enerjisi,  $h$  Planck sabiti ve  $\nu$  gelen fotonun frekansdır. Bu ifade sayesinde bir elektron bir maddeye çarptığında ortaya çıkan dalganın frekansını, ya da bir dalga bir maddeye çarptığı zaman saçılan elektronun kinetik enerjisini hesaplamak mümkündür.



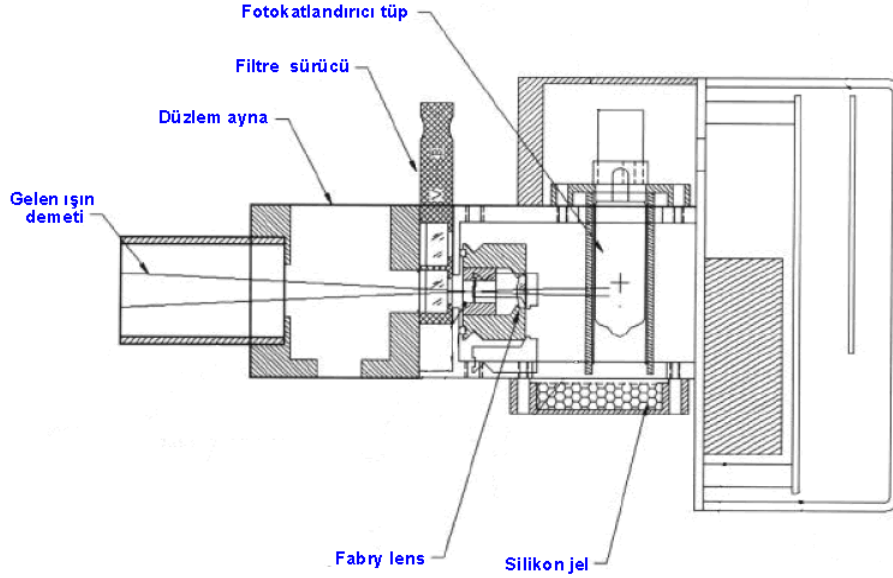
Şekil 5 Fotoelektrik olayın şematik gösterimi.

Bu olayda elektronlar katottan, düşen ışık yardımıyla sökülürler. Daha sonra pozitif yüklenmiş anot tarafından çekilirler. Katotta elektron salınması nedeniyle oluşan elektron eksikliği, ampermetre üzerinden elektronların akmasına neden olur. Bunun sonucu olarak devreden geçen akım ölçülür.

1940'lı yıllardan sonra bu basit prensibe dayalı olarak fotokatlandırıcı tüpler astronomide yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Fotokatlandırıcı tüp gelen ışık şiddetiyle orantılı olarak bir elektrik akımı yaratır. Çıkan akım bir kayıt cihazı tarafından ölçülmeden önce yükseltilmelidir, aksi halde oluşan akım çok düşük olacaktır. Bu nedenle bu algılayıcılarda birden fazla anot ve dinot kullanılır. Bu algılayıcılara fotokatlandırıcı denir, gelen ışık birçok anot ve dinot üzerinden katlandırılarak ışık şiddeti yükseltilir. Astronomide fotokatlandırıcı tüpler fotometre (ışık ölçer) adı verilen özel bir sistemle birlikte kullanılır (bkz. Şekil 7).



Şekil 6 Fotokatlandırıcı tüp'ün genel yapısı.



Şekil 7 Fotometre sisteminin genel yapısı.

Fotometre başlıkları teleskobun odak düzlemi üzerine yerleştirilir ve gelen ışık fotokatlandırıcı tübe yönlendirilir. Fotometre başlığının en önemli parçası diyaframdır. Bu teleskobun görüş alanında çok küçük bir bölgeden gelen ışığın ölçülmesini sağlar. Bu da genellikle içine ancak bir yıldız alabilecek genişliktedir. Ancak yine de yıldızın çevresindeki gökyüzünün parlaklık değerleri ölçümlere ilave olur. Bir çok ışıkölçerde farklı diyafram seçenekleri bulunmaktadır. Genellikle bunların içinden en küçük olanının kullanılması tercih edilir. Böylece gökyüzünden gelen ışık minimuma indirilmiş olur. Ancak diyaframın



boyutunun küçülmesi, takipte yapılabilecek hataların da küçük kalmasını gerektirir. Fotometrenin bir diğer elemanı ise yönlendirici aynadır. Bu ayna ile fotometreye giren ışık bir göz merceğine yönlendirilir. Bu ışıkölçere giden görüntünün nasıl olduğunu görmemizi sağlar. Yani önce bu göz merceğinden bakarak yıldız diyaframın ortasına alınır daha sonra 45° dönebilen düz ayna yardımıyla ışığın fotokatlandırıcı tüpe gitmesi sağlanır. Fotokatlandırıcıya giden ışınlar teleskoptan ya da yıldızın titreşmesinden kaynaklanan sapmalar gösterebilir. Ölçümler, bu etkilerden doğrudan etkileneceğinden, arındırılmalıdır. Bunun için ışınlar fotokatlandırıcıya gitmeden önce ışınları paralel hale getirecek bir mercekle kullanılır. Bu merceğe Fabry Merceği denir ve bunun sayesinde tüm ışınlar tek bir noktada toplanır. Fotometre sisteminin bir başka önemli parçası da filtrelerdir. Bu filtreler sayesinde gelen ışığın farklı dalgaboyu değerlerine göre tayfsal yanıtının ölçülmesi sağlanır. Fotometre başlıklarında yaygın olarak en sık kullanılan filtreler Johnson UBVR ve Strömgen ubvy filtreleridir.

## 5. CCD

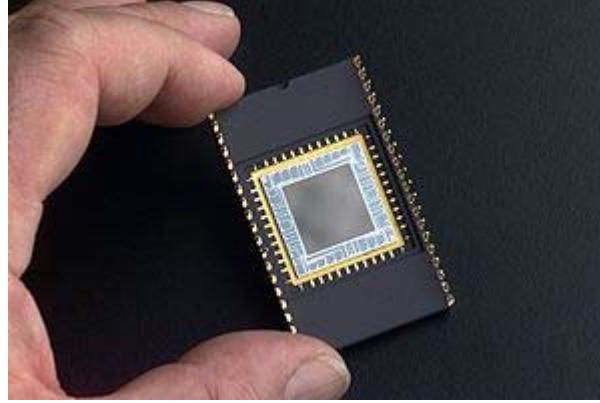
Kısaca adı CCD olan (Charge-Coupled-Device) dedektörlerin temelleri, 1969 yılında Bell Laboratuvarından Willard Boyle ve George Smith tarafından tek dizi sekiz piksel detektörün yapılması ile atıldı. Daha sonra 1973 yılında NASA, JPL ve TI'nin astronomi için CCD geliştirilmesi programına başlaması CCD'lerin bugüne gelmesini sağladı. Bugün CCD'ler binlerce hücreden oluşmaktadır. CCD'ler ile ilk alınan görüntü ise, 1974 yılında Fairchild'in 8 inch'lik teleskop ve 100x100 piksellik CCD ile aldığı Ay görüntüsüdür. Bu gelişmeleri 1973-1977 yılları arasında TI'nin 100x160, 400x400 ve 800x800 piksellik CCD'ler ve 1979 yılında RCA'nın 320x512 piksellik sıvı azot soğutma sisteme sahip dedektörü yapması izledi.

Günümüzde CCD'ler astronomi-astrofizik çalışmaları için vazgeçilmez bir hale gelmiştir. Teleskoplarla bile ayırt edemediğimiz derin veya sönük uzay nesnelere CCD'ler sayesinde alabiliyoruz. Aynı zamanda CCD'ler fotoelektrik olayın bir uygulamasıdır.

Işığa duyarlı birim olan ve silisyum-hücrelerden oluşan CCD-algılayıcı, üzerine düşen ışığın şiddeti ile orantılı olacak şekilde tepki verir. CCD-algılayıcının her noktası (piksel), algılanan

şiddete bağılı olarak, bir sinyal üretir. A/D (analog/dijital)-çevirici sayesinde bu sinyal bir sayıya dönüştürülür. CCD-algılayıcı sadece ışınım şiddetlerini ölçebilir, yani renkli göremez.

CCD'lerin genel olarak yaptıkları ilk işlem ışık kaynağından gelen fotonları yakalamaktır. Yakalanan fotonlar, foton madde etkileşmesi (fotoelektrik olay) ile foto-elektronları meydana getirirler. Bu elektronlar "Cell" adı verilen küçük hücrelerde toplanırlar. Hücrelerdeki elektronlar sayılmak üzere transfer edilir (yük transferi). Analog sayısal birim; "ADU" ya gönderilen elektronların sayısal değeri bulunur. Bundan sonraki işlem ise; bu değerlerin koordinatları ile birlikte saklanması işlemi, Readout'tur veya bir başka deyişle okuma işlemidir.



Şekil 8 Örnek bir CCD algılayıcısı.

Bir CCD'nin bir görüntü üretmesi için yapması gereken 5 şey vardır;

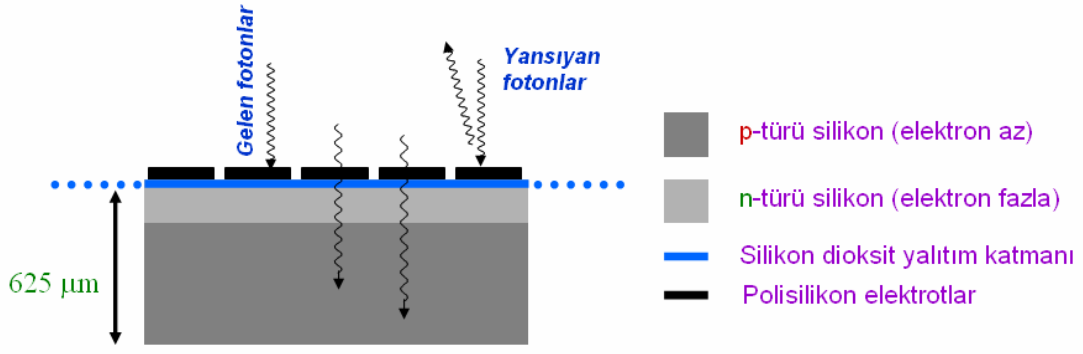
1. Fotoelektrik prensibi ile foton – madde etkileşmesi sayesinde fotonları fotoelektronlara dönüştürme,
2. Fotoelektronları hücre (piksel) adını verdiğimiz yerlerde toplama,
3. Hücrelerdeki elektronları sayılmak üzere yük transfer etme,
4. Yük transferi esnasında her bir hücredeki elektronları analog-sayısal dönüştürücüleri ile sayma,
5. Bu değerlerin koordinatları ile birlikte sayılma işlemi (okuma) kaydetme.

CCD'nin görüntü alanı teleskobun odak düzlemine konulur. Böylece bir poz süresi sonunda bir elektrik yük deseninden oluşan bir görüntü oluşur. CCD'ler, bilgisayar yongalarının üretiminde kullanılan foto-litografik yöntemlerin aynısı ile, silikon katmanlar üzerinde üretilir. Üretiminde iki tip yarı iletken silikon kullanılır; p-türü ve n-türü silikon. Burada p pozitif yüklü silikonu ve n

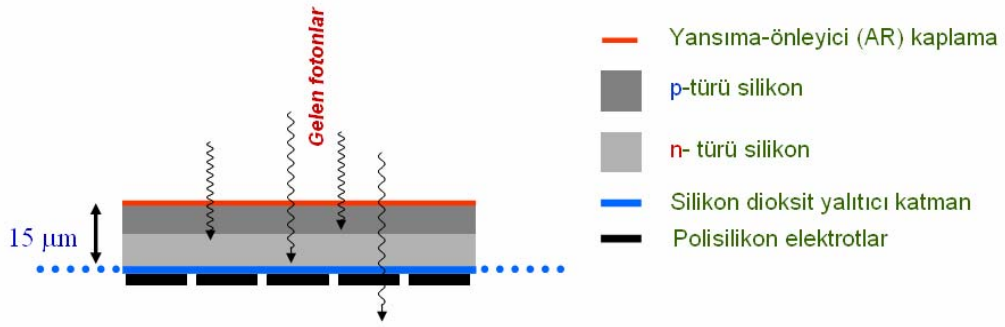
negatif yüklü silikonu belirtmekte. CCD'ler üretim tekniklerine ve duyarlılıklarına göre iki türe ayrılırlar;

a) **Kalın, Önden-aydınlatmalı CCD;** Üretimlerinde yaygın olarak katman üretim teknikleri kullanıldığı için ucuzdurlar. Genel görüntüleme amaçlı uygulamalar için kullanılırlar. Tüm fotonların algılanamamasına karşın, bu aletler yine de fotoğraf filmlerinden daha duyarlıdırlar. Işığın yüzey elektrotları tarafından soğurulması ve yansıtılması nedeniyle düşük bir Kuantum Etkinliği'ne sahiptirler. Mavi bölgedeki duyarlılıkları kötüdür. Elektrot yapısı, verimliliği arttıracak olan yansım engelleyici kaplama yapılmasını engeller. Sınırlı maddi olanağı olan amatör gökbilimciler, kalın CCD'leri kullanmayı düşünebilir. Profesyonel gözlemevlerinde büyük bir gözlem aracını çalışır durumda tutmak için yapılan harcamalar, algılayıcıların olası en büyük duyarlıkta olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle; buralarda kalın önden-aydınlatmalı yongalar genelde kullanılmaz (bkz. Şekil 9).

b) **İnceltilmiş, Arkadan-aydınlatmalı CCD;** p-türü silikon katman mekanik ve kimyasal yolla aşındırılarak yaklaşık 15 mikron kadar bir kalınlığa düşürülür. Işık arkadan girer ve böylece elektrotlar fotonları engellemez. Bu yolla Kuantum Etkinliği %100'e yaklaşabilir ve çok düşük ışığa duyarlı hale gelir. Yonga üretim teknikleri açısından "inceltme işlemi" sıradan bir işlem değildir, seri imalat sırasında yapılamaz. Dolayısıyla çok pahalıdır. İnceltilmiş CCD'ler yakın kızılöte için neredeyse saydamdır ve kırmızı duyarlığı kötüdür. Duyarlık, inceltilmiş arka yüzeye yansım-önleyici kaplama uygulanmasıyla arttırılabilir. Bu kaplamalar, yüzey elektrotlarının oluşturduğu kabartılar nedeniyle kalın CCD'lerde çok iyi görev yapmaz. Profesyonel Gökbilim amaçlı kullanılan CCD'lerin neredeyse tamamı İnceltilmiş ve Arkadan-Aydınlatmalı'dır (bkz. Şekil 10).

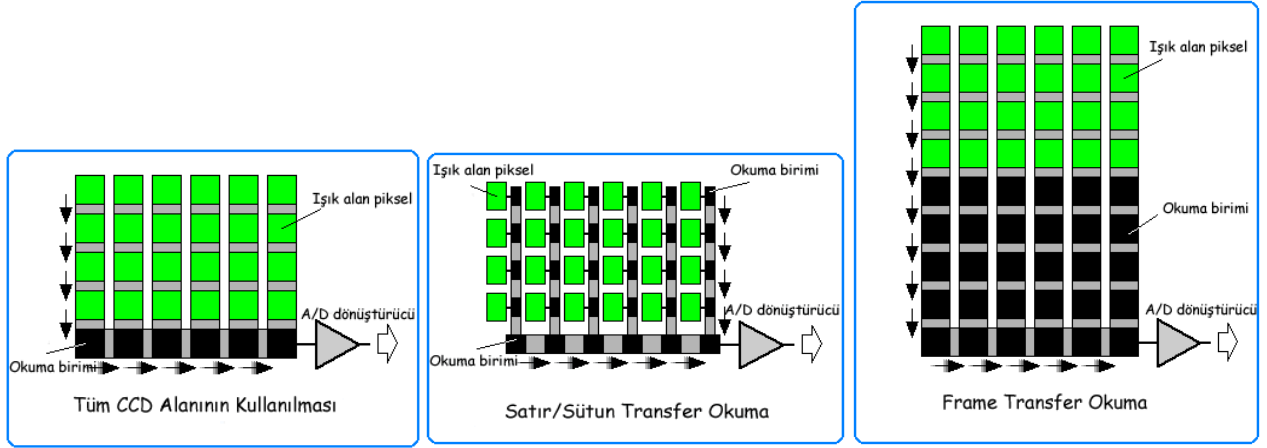


Şekil 9 Kalın, önden aydınlatmalı CCD'nin kesit görüntüsü.



Şekil 10 İnce, arkadan aydınlatmalı CCD'nin kesit görüntüsü.

CCD'lerde okuma işlemi 3 yöntem ile yapılır. Normal yöntemde Şekil 11'de görüldüğü gibi tüm CCD alanı veri almada kullanılır ve okuma için sadece okuma satırı kullanılır. Bu şekilde veri alınan alan artarken okuma zamanı düşecektir. Satır veya sütun transferi yönteminde veri alan satır/sütunların yanında bunlara paralel birer okuma satırı/sütunu bulunur. Bu durumda okuma zamanı oldukça kısalmıştır. CCD'nin gökyüzünde gördüğü alan, normal okuma yapan bir CCD'ninki ile aynıdır. Ancak görüntünün çözünürlüğü yarı yarıya düşer. Yöntem, yaygın cisimlerin gözlemi için uygun değildir. Üçüncü olan frame transfer yönteminde ise CCD iki parçaya ayrılır. Bir yarısı görüntü alırken diğer yarısı tamamen okuma için kullanılır. Bu yöntemde de okuma zamanı ikincideki ile aynı olur. CCD'nin gökyüzünde gördüğü alan yarıya inerken, çözünürlük normal okumadaki ile aynı kalacaktır. Her üç yöntem de Şekil 11'de gösterildi.



Şekil 11 CCD okuma yöntemleri

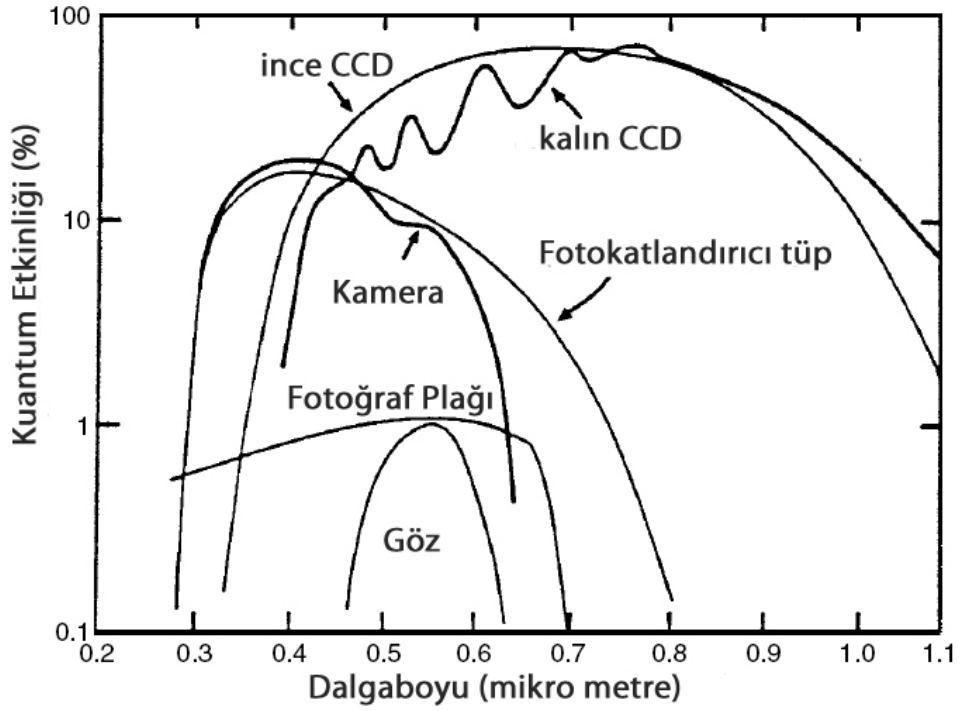
Sonuç olarak CCD lerin artı ve eksilerini şu şekilde sıralanabilir;

**Artıları;**

- Piksel başına toplanan yük ile gelen foton akısı arasında doğrusal ilişki olması,
- 65565 elektrona kadar yük biriktirme kapasitesi (full well capacity) ile büyük bir dinamik aralığa sahip olması,
- Bir çok modern inceltmiş/arkadan aydınlatmalı alette %100'e varan çok yüksek bir kuantum etkinliğine ulaşılabilmesi,
- Verinin alınır alınmaz doğrudan bilgisayar yardımıyla işlenebilmesi,
- Uzun zaman aralıkları boyunca ışık toplayabilmesi,
- Yonga-üzeri satır/sütun birleştirme (on-chip binning) yoluyla CCD üzerinde sinyal işleyebilmesi,
- CCD'nin Sıvı Azot sıcaklıklarına kadar (77 K) soğutulmasıyla ısısal gürültünün çoğunun yok edilebilmesi.
- Doğrusal (ve sayısal) cevap vermesi nedeniyle bir çok pozun Poisson gürültüsünü azaltmak amacıyla birleştirilebilmesi,
- Özelliklerinin 'ideal' algılayıcıya çok yakın olması.

**Eksileri;**

- Oldukça pahalı olması. Bilimsel amaçlı 1K x 1K boyutlarında küçük bir CCD için bile 10,000 \$,
- Aynı türden her CCD'nin genel özellikler bakımından benzer ama eşdeğer olmaması,
- Kuantum etkinliği, yonga kalitesi ve diğer bozuklukların aletten alete değişmesi.



Şekil 12 Algılayıcıların karşılaştırmalı duyarlılık eğrileri.

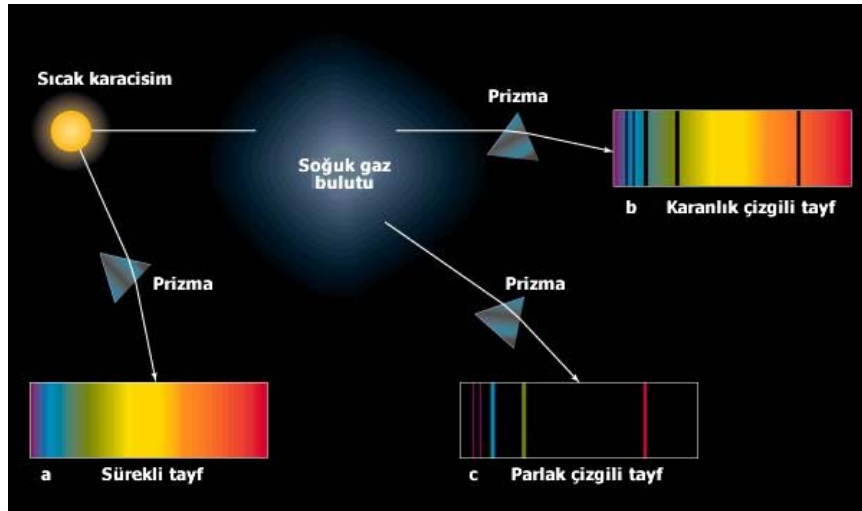
## 5. TAYFÖLÇERLER

Newton 1660'lı yıllarda ışığı bir prizmadan geçirdiğinde ışığın renklerine ayrıldığını gördü. Beyaz ışık prizmadan geçerken beyaz ışığı meydana getiren yedi rengin kırılmaları değişik olduğu için (kırılma miktarı ışığın dalgaboyuna bağlıdır) prizma bunları ayrı ayrı açılarla kırar ve böylece yedi renk görüntüsü oluşur. Renkler, sırası ile şunlardır: Kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, lacivert, mor. Bu renk dizisine kısaca “*tayf*” veya “*spektrum*” denir. Bir başka ifadeyle tayf, ışığın dalgaboyuna göre enerji dağılımı olarak da tanımlanabilir. Prizmadan geçirilen beyaz ışın temelde yedi renge ayrılır ancak bu renkler birbirine karışmış durumdadır. Bu renkleri daha iyi gözlemleyebilmek için ışığın kırınımı prensibine dayanan, “*tayfölçer*” denen bir alet kullanılır. Bir tayfölçer, elektromanyetik ışınımı dalgaboylarına ayırır ve dalgaboylarını ölçme imkanı verir. Karışma etkisini azaltmak için, ışık tayfölçere çok dar bir yarıktan sokulur. Böylece elde edilen ince ışık demeti kolimatör ya da yönlendirici denen yakınsak bir mercekten geçirilerek paralel bir demet haline dönüştürülür. Paralel demet dalgaboylarını birbirinden ayıran bir araçtan geçirilir. Bu ışınları toplayan bir başka yakınsak mercekle bunları, ayrı şeritler halinde ekrana düşecek biçimde odaklar. Tayfölçerin hemen hemen aynı renkteki iki ışık ışınını ayırma yeteneğine ayırma gücü denir; ayırma gücü özellikle yarı genişliğine, ayrıca merceklerin niteliğine bağlıdır.

1814'te Alman bilim adamı Joseph von Fraunhofer (1787-1826), Güneş tayfındaki parlak renkleri düzenli aralıklarla kesen karanlık çizgiler bulunduğunu fark etti. Ayrıca, bu karanlık çizgilerden bazılarının konumlarının, belirli elementlerin salma tayflarındaki parlak çizgilerin konumlarına tamamen uyduğunu da belirledi, ama bunun bir anlamı olabileceğini düşünmedi. Fraunhofer çizgilerinin anlamını 1861'de başka iki Alman bilim adamı, Gustav Robert Kirchhoff (1824-87) ve Robert Wilhelm Bunsen (1811-99) açıkladı. Günümüzde Kirchhoff yasaları olarak bilinen bu çalışmanın sonuçları,

- Akkor haldeki katı, sıvı veya sıkıştırılmış gazın sürekli tayf verdiğini,
- Alçak basınç altındaki akkor halindeki gazın parlak çizgi tayfi verdiğini,
- Sürekli tayf veren bir ışık kaynağının önüne, sıcaklığı kaynağinkinden düşük bir gaz bulunduğu zaman, sürekli tayf üzerinde koyu renkli çizgiler görüldüğünü

ortaya koydu. Bu nedenle tayfi üç sınıfa ayırabiliriz; sürekli tayf, parlak çizgi (salma) tayfi ve karanlık çizgi (soğurma) tayfi (bkz. Şekil 13).

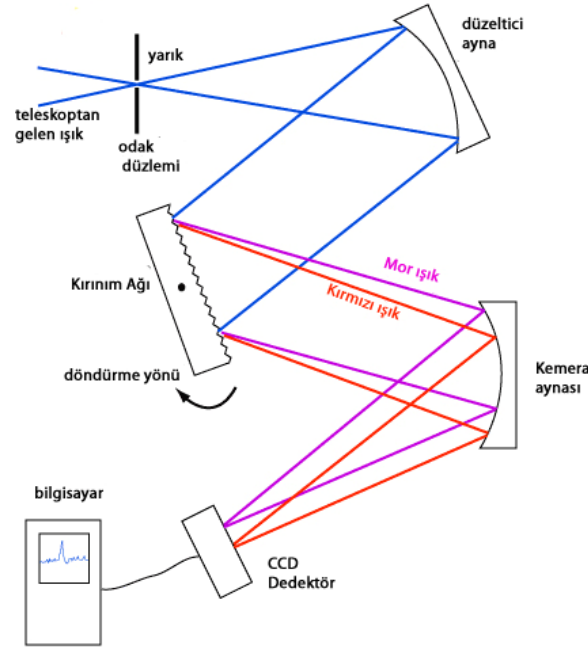


Şekil 13 Tayf türleri.

Astronomide yıldızların, kuyruklu yıldızların ve gezegenlerin bileşimlerini ve sıcaklıklarını araştırmak için tayfölçerlerden yararlanır. Dahası, soğurma ya da salma tayflarında çizgilerin konumlarındaki bir kayma, bir yıldız ya da gökadanın Güneş sisteminden uzaklaşmakta mı yoksa bu sisteme yaklaşmakta mı olduğunu gösterir. Bir yıldız ya da gökada uzaklaşıyorsa, "kırmızıya kayma" olur; yani, bir tayf çizgisi tayfin daha uzun dalgaboylarının bulunduğu ucuna doğru yer değiştirir. "Maviye kayma" ise yıldız ya da gökadanın yaklaştığını gösterir (bkz. DOPPLER ETKİSİ). Tayfölçerlerde ışığı dalgaboylarına ayırmak üzere iki tür optik eleman kullanılır;

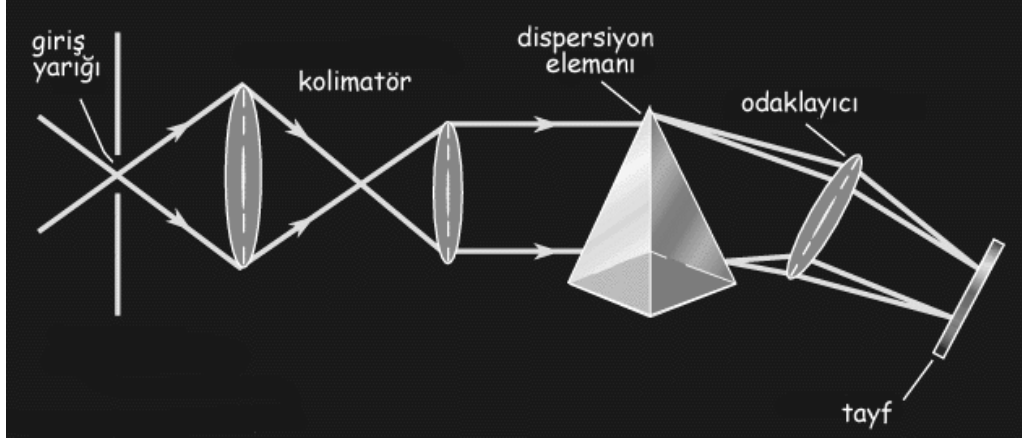
prizmalar ve optik ağlar (kırınımı ağı). Tayfölerler bu optik elemana göre adlandırılır. Optik ağlı tayfölerlerde ışığın renklerine ayrışması bir optik ađ aracılığı ile olur. Optik ađ cam veya parlak bir metal üzerine paralel ve eşit aralıklarla çizilmiş binlerce çizgiden meydana gelmiştir. Optik ağda ne kadar çok çizgi olursa tayfölerin ayırma gücü o kadar büyük olur (Şekil 14).

Prizmalı tayfölerde (Şekil 15), paralel ışın demeti bir üçgen prizmanın yüzeyine eğik olarak düşürülür. Prizmadan geçen ışınlar dalgaboyuna bağlı olarak kırılır. Dalga boyu ne kadar küçükse ışık o kadar çok kırılır. Bir mercek veya bir mercek sistemi ile bu ışınlar tayfölerin odak düzleminde toplanır. Böylece odak düzleminde ışığın tayfı elde edilmiş olur. Optik ağlı tayfölerde ise yarıktan geçtikten sonra paralel hale gelen ışın demeti optik ađ üzerinde yansır, farklı yansıma açılarına karşılık gelen tayflar elde edilir.



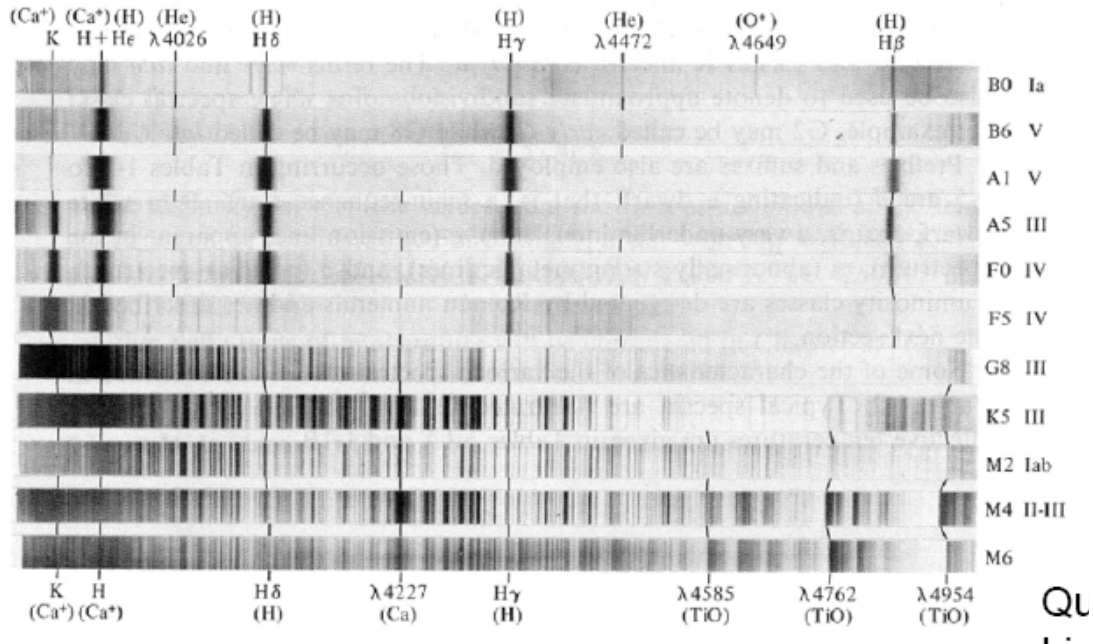
Şekil 14 Optik ağlı tayfölerin şematik gösterimi.





Şekil 15 Prizmalı tayföçerin şematik gösterimi.

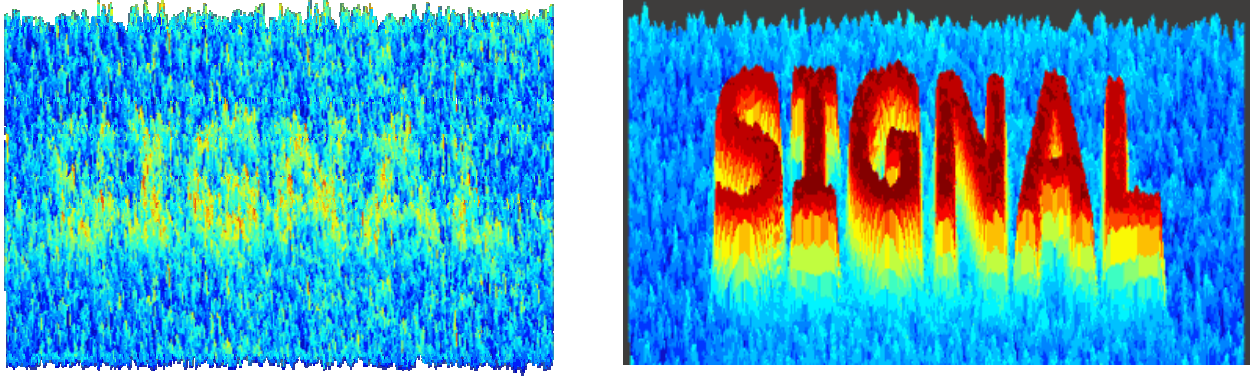
Her iki tayföçlere odak düzlemi üzerinde elde edilen tayflar fotoğraf plağı veya CCD algılayıcılar ile kaydedilir. Bu sayede gelen cismin ışığının analizinden cismin sıcaklığı, kimyasal yapısı, uzay hareketi ve dönmesi hakkında bir bilgi edinilebilir.



Şekil 16 Bazı yıldızların örnek tayf görüntüleri.

Bir tayf iki temel karakteristik parametre ile ifade edilir; Sinyal / Gürültü (S/N) oranı ve Çözünürlük (R). Sinyal / Gürültü oranı (S/N), dedektöre gelen sinyal seviyesi ile gürültü seviyesinin oranıdır. Gürültü, gökyüzü arkaalanından gelen ışınımın ilaveten ortamın sıcaklığı,

aletsel ve çevresel şartlardan oluşan istenmeyen sinyallerin tamamına verilen addır. S/N oranının yüksek olması, daha kaliteli bir tayf anlamına gelir ve tayftaki daha çok sayıda zayıf çizginin ölçülebilmesini sağlar. Düşük S/N oranlarında ise, zayıf çizgiler gürültü seviyesinin içerisinde kalarak ondan ayırdedilemezler ve dolayısıyla ölçülemezler.

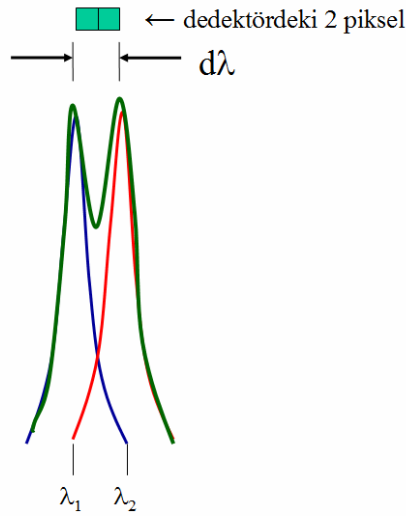


Şekil 17 Sinyal / Gürültü oranların karşılaştırması, soldaki kötü S/N, soldaki yüksek S/N oranına sahiptir.

Bir tayfın çözünürlüğü;

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $\lambda$  gözlem yapılan dalgaboyunu ve  $\Delta\lambda$  ise ayırdedilebilen en küçük dalgaboyu aralığını göstermektedir (bkz. Şekil 18).



Şekil 18 Tayfsal çözünürlüğe ilişkin örnek bir gösterim.

Tayfin çözünürlüğü arttıkça, birbirine daha yakın çizgiler ayırđedilebilir. Çözünürlüğün düşmesi ise yakın çizgilerin tayfta birleşerek birbirinden ayırđedilememesi sonucunu doğurur. Bir optik ağı tayfölerde çözünürlük optik sistemin odak uzunluğuna, giriş yarığının yarıçapına ve optik ağın basamak sayısına bağlıdır. Tayfsal çözünürlüğü artırmak için optik sistemin odak uzunluğunu artırmak veya daha fazla basamağa sahip bir optik ađ kullanmak gerekmektedir. Çözünürlük ile giriş yarığının genişliği ise ters orantılıdır. Çözünürlüğü artırmak için giriş yarığının genişliği azaltıldığında optik sisteme giren ışık ve dolayısıyla foton kazancı azalacağı için bu yöntem tercih edilmemektedir.

## **KAYNAKLAR**

<http://tr.wikipedia.org>

[http://www.tug.tubitak.gov.tr/belgeler/ccd\\_bilgisi](http://www.tug.tubitak.gov.tr/belgeler/ccd_bilgisi)

Prof. Dr. Varol Keskin, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü.

<http://astronomy.ege.edu.tr/~keskinv/CCD.PPT>

Edwin Budding ve Osman Demircan. 2007. Introduction to Astronomical Photometry.

Cambridge University Press.

Ian S. McLean. 2009. Electronic Imaging in Astronomy, Detectors and Instrumentation. Wiley-

Praxis Series in Astronomy and Astrophysics, Chischester, UK.