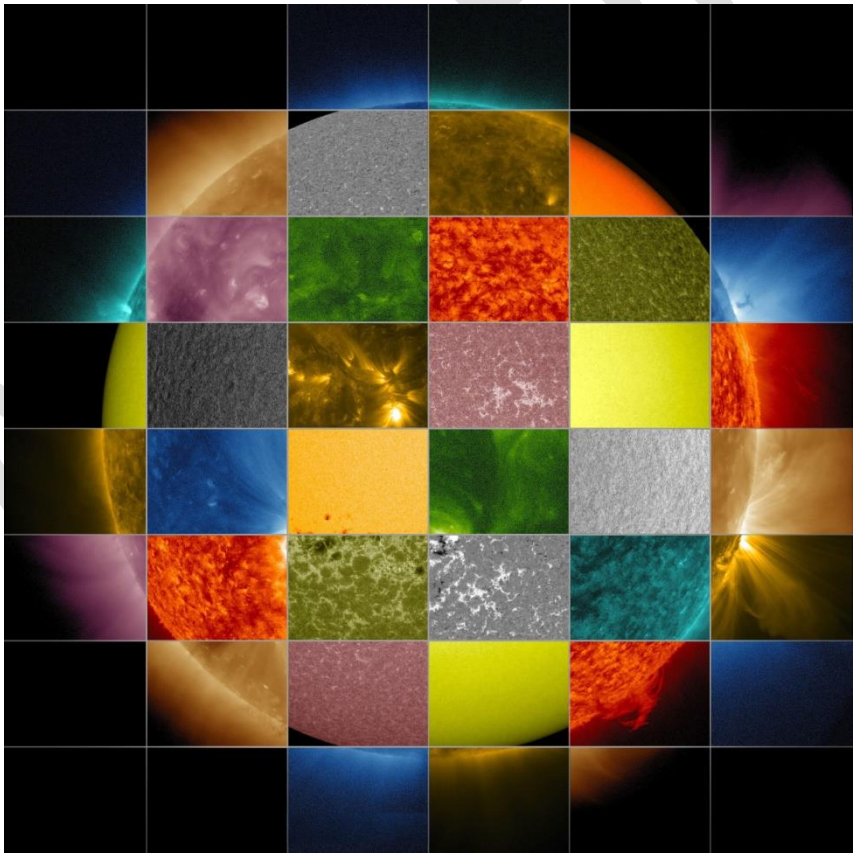
GÜNEŞ

Prof. Dr. Serdar Evren

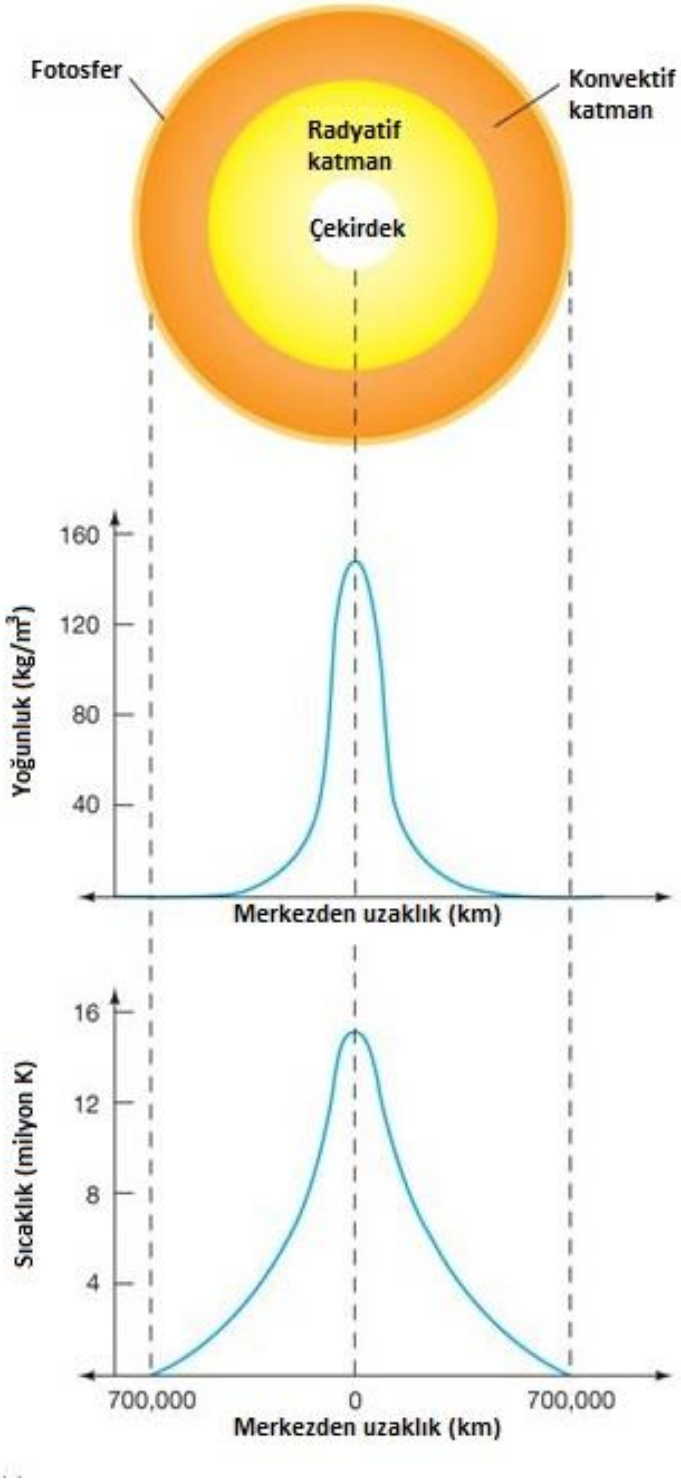
Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir

Güneş, gökadamız Samanyolu içindeki yaklaşık 300 milyar yıldızdan biridir. Gökada merkezinden 8000 pc (8 kpc) uzakta, sarmal kollardan biri üzerinde bulunur (gökadamızın yarıçapı yaklaşık 15000 pc'dir). Yıldızların gökada merkezi etrafındaki dönme hareketine katılarak bir tam dönüşünü 200-250 milyon yılda tamamlar. Güneş merkezli 100 pc kenarlı bir küp içinde yaklaşık 100 yıldız vardır. Bunların arasından Proxima Centauri 1.3 pc ile (4.3 ışıkyılı) Güneş'e en yakın yıldızdır. Bu yıldızlardan biri üzerinden Güneş'e bakılsa, parlak bir nokta olarak görülür. Güneş, H-R diyagramında anakol üstünde bulunur. Çapları 500 kat daha büyük olan Betelgeuse ve Antares gibi dev yıldızlara göre karşılaştırılırsa cüce yıldızlar kategorisine girer. Gökadadaki yerine, boyutuna ve ışınım gücüne göre fazla ilgi çekici olmayan bir yıldız olup, görünür açısal çapı 32 yay dakikasıdır.

Güneş, sıcak bir gaz küredir. Merkezindeki sıcaklık ve yoğunluk nükleer reaksiyonları başlatmaya yeterlidir. Güneş'in enerji kaynağı hidrojendir. Füzyon işlemleriyle hidrojen çekirdeği, helyum çekirdeğine dönüşür. Bundan dolayı, hidrojen çekirdeklerinin sayısı Güneş merkezine doğru azalır. Merkezden uzaklaştıkça hidrojen çekirdeklerinin sayısında çok hızlı artış olur. Güneş yarıçapının dörtte birinden sonra hidrojen, helyum ve daha ağır elementlerin karışım değerlerinde düzgün bir dağılım vardır.



Şekil 1. Güneş atmosferinin farklı dalgaboylarında çekilmiş görüntülerinden elde dilmiş bir fotomontaj, (*NASA's Solar Dynamics Observatory, SDO).*



Tayf Türü: G2 V

Yaş: ~ 4.5 milyar

Yarıçap ($R_\odot$): ~ 696000 km

Kütle($M_\odot$): ~$2x10^{33}$ gr

Ort. yoğunluk($\rho_\odot$): ~1.4 g/cm^3

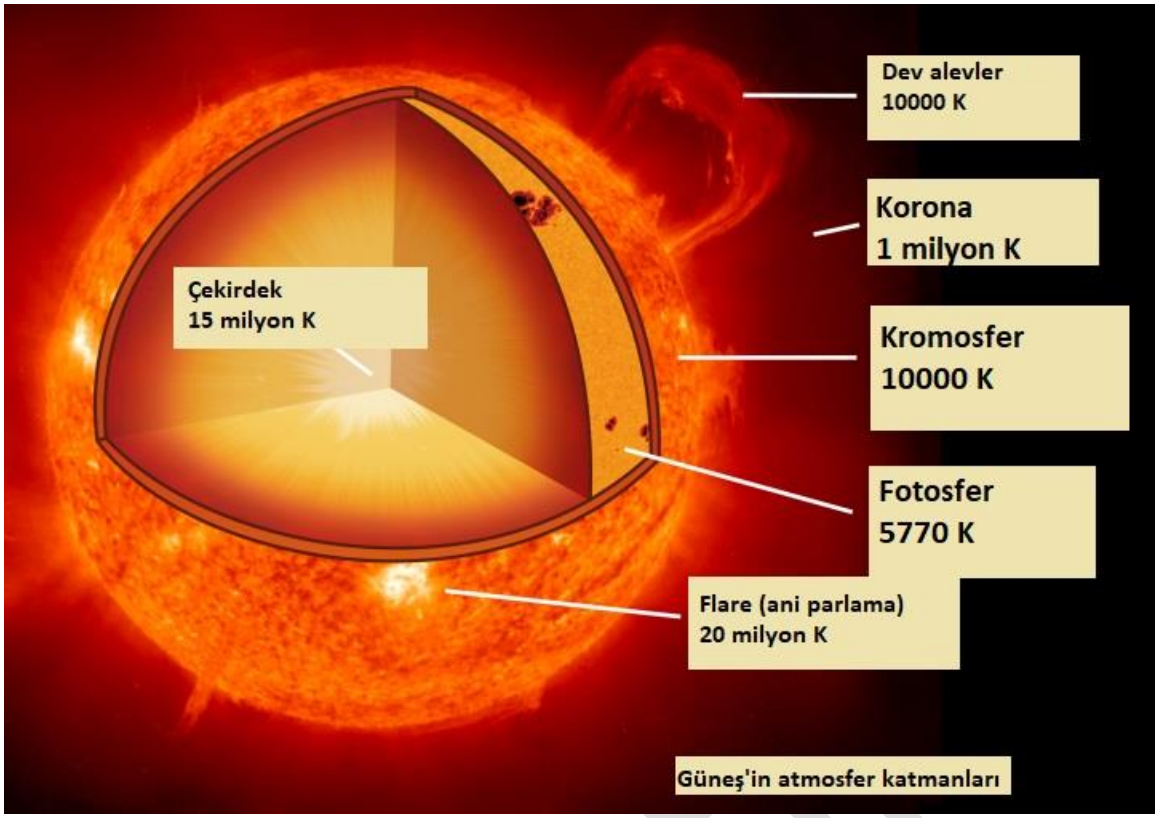
Işınım gücü($L_\odot$): ~$4x10^{33}$ erg/s

Etkin sıcaklık: ~5770 K

Salt parlaklık: $+4^m.83$

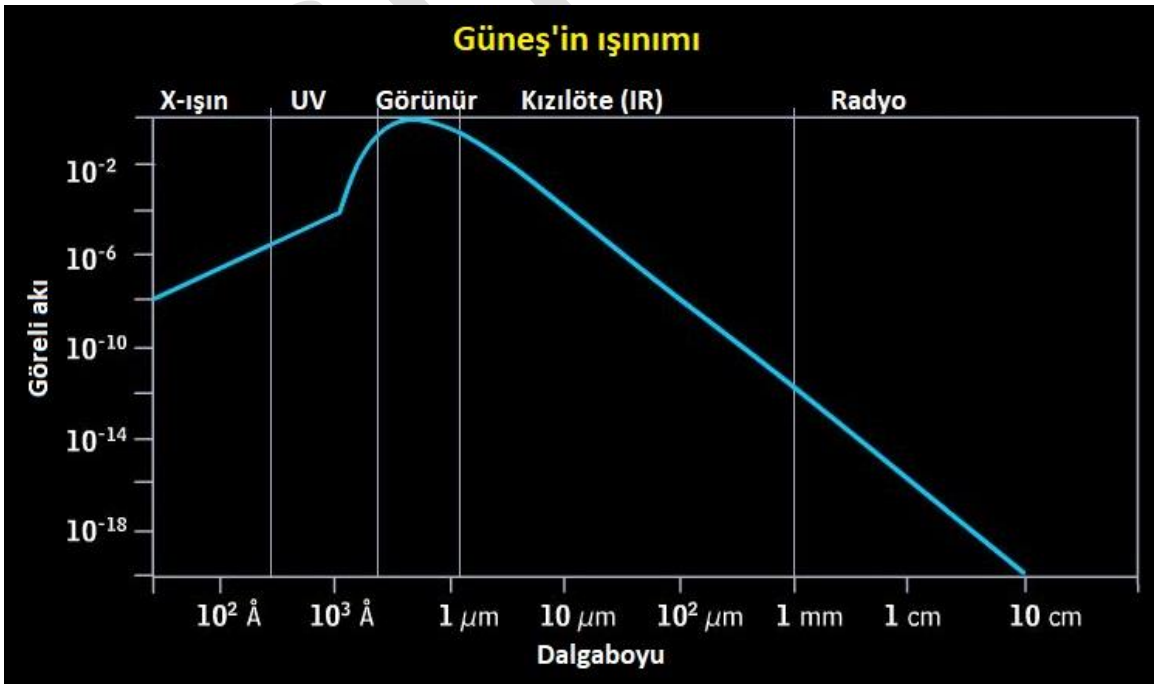
Şekil 2. Güneş'in merkezinden yüzeyine kadar sıcaklık ve yoğunluk değişimi.

Güneş gaz yapıda olduğundan keskin sınırları yoktur. Güneş'in merkezinde yoğunluk bir metalin yoğunluğundan 10 kat daha büyük ve sıcaklık ise 15 milyon K derecedir. Pratikte güneş ışığının hepsi **fotosfer** olarak adlandırılan ince bir katmandan görsel dalgaboylarında salınır. Fotosferin hemen üzerinde 2000 km kalınlığında **kromosfer** bulunur. En dış katman ise **korona**dır. Tam güneş tutulması anında çıplak gözle görülebilen beyaz ışık halosudur. Üç milyon kilometre genişliğindedir. **Güneş rüzgarı** formunda gezegenler arası ortama kadar uzanır. Fotosfer, kromosfer ve korona katmanlarının hepsine **Güneş'in atmosferi** denir.



Şekil 3. Güneş'in atmosfer katmanları.

Güneş elektromanyetik tayfın tüm bölgelerinde ışık salar. Enerjinin %41'i görsel bölgede, %52'si kızılötede, %7'si yakın morötede, %0.01'i moröte ve X-ışını bölgesinde, %10^{-10}'u radyo bölgesinde salınır. Her bir dalgaboyu bölgesi güneş atmosferinin bir katmanıyla eşleştirilmiştir.

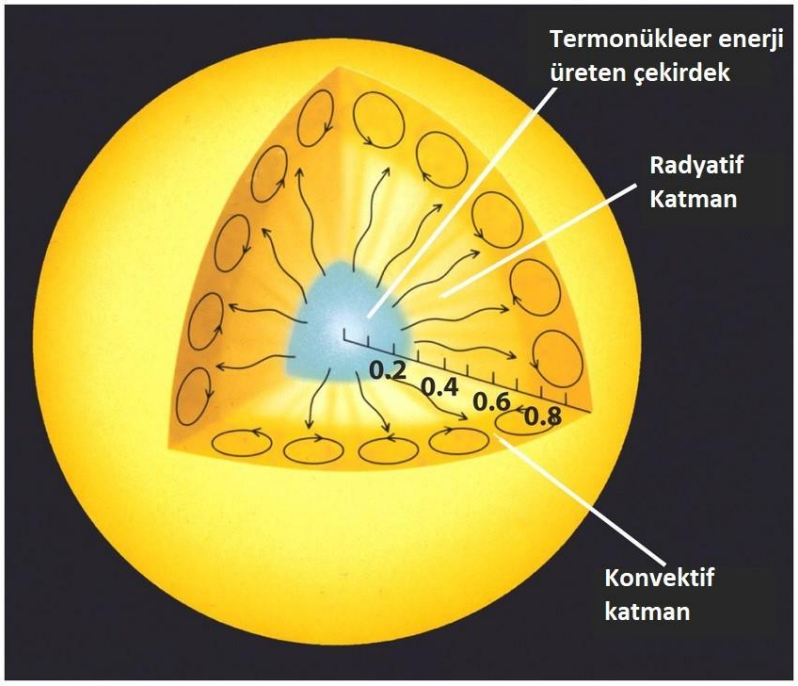


Şekil 4. Güneş'in yaydığı ışınım elektromanyetik tayf dağılımı.

GÜNEŞ'İN İÇYAPISI

Güneş, kütlesi, yarıçapı, ışınım gücü, yüzey kimyasal yapısı ve yaşı doğru olarak saptanabilen tek yıldızdır. Bu durum onu astrofizik için önemli bir cisim yapmaktadır. Güneş, yıldızların içyapı modellerinin test edilmesine olanak tanır. Güneş, yıldız evriminin en uzun yaşamlı ve en basit evresindedir. Hidrojeni helyuma dönüştürmekte olan bir anakol yıldızıdır. Hassas fiziksel modeller yardımıyla derin katmanlarının yapısı ortaya konabilir. Araştırma sonuçlarına göre merkez çok yüksek sıcaklığa sahiptir. Bu yüzden Güneş kendi kendini kontrol eden büyük bir nükleer reaktördür.

Yapılan modellerde Güneş'i tam bir küresel simetri olarak kabul eder, dönme ile manyetik alanların etkilerini boşlayabilir, hidrostatik denge ve enerji dengesinin varlığını kabul edebiliriz (yıldızın her bir noktasındaki ısı basıncı onu çekime karşı dengede tutar). Merkezde, yüzeyden kaybolan enerjinin yerini nükleer reaksiyonlardan açığa çıkan yeni enerji alır.



Şekil 5. Güneş'in içyapı modeli.

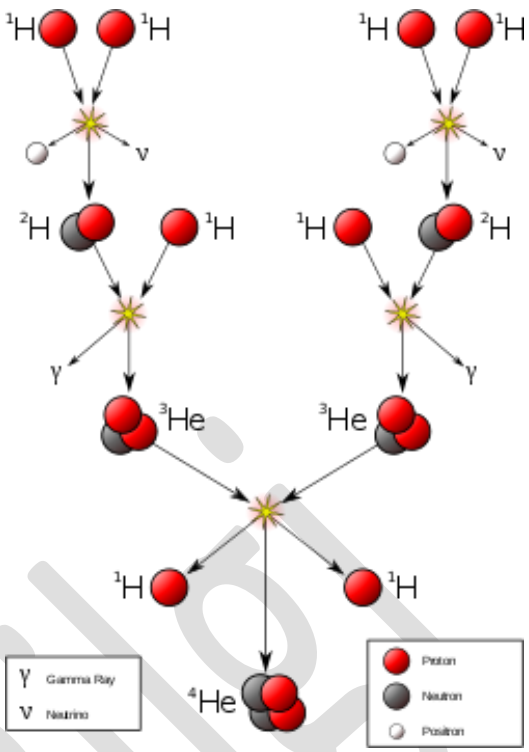
Çekirdekte, fotonun defalarca üst üste olan etkileşmeleri sonucunda yüzeye ulaşması milyonlarca yıl alır. Merkezdeki nükleer reaksiyonlardan yayılan gamma ışın fotonları etkileşmeler sonucunda enerji kaybederek görsel ışık olarak yüzeyden yayılır. Güneş yarıçapının üçte birlik dış bölgesinde sıcaklık derinliğe bağlı olarak değişir. Isı enerjisi burada maddenin çalkantılı hareketlerine bağlı olarak konveksiyon yolu ile yüzeye ulaşır. Bu bölgenin altında radyatif denge vardır.

Güneş'in yapısı, başlangıçta homojen ve belli bir kimyasal bileşimi olan, yüzeyin tayfsal gözlemlerine uygun yapılı $2x10^{30}$ kg'lık bir yıldız için hesaplanır. Modelde iki serbest parametre vardır: başlangıçtaki helyum bolluğu (Güneş'in yüzeyinde gözlenemez) ve konveksiyon bölgesinin derinliği. Bu parametreler yaşa uygun ışınım gücü ve yarıçap elde edilinceye kadar ayarlanır. Kimyasal yapının başlangıç değerleri olarak %70.5 hidrojen, %27.5 helyum ve %2 ağır elementler alınmıştır. Şu andaki Güneş modeli, sıcaklık ve yoğunluğun yarıçapla değiştiğini gösterir: merkezde T= $15.5x10^6$ K, ρ=150000 kg/m^3; yüzeyde T=5800 K, $\rho=10^{-9}$kg/m^3'tür. Yarıçapın %26'lık dış bölgesini kaplayan konveksiyon bölgesi, yıldızın toplam kütlesinin yalnız %1.2'sini bulundurur. Bu bölgenin tabanında sıcaklık $2x10^6$ K, yoğunluk 140 kg/m^3'tür.

Güneş'in temel yakıtı olan hidrojen miktarı merkezde sürekli azalmaktadır. Çünkü 4 hidrojen çekirdeği 1 helyum çekirdeğine dönüşür.

Güneş'in temel enerji kaynağı,
proton - proton (pp) çevrimidir.

1. basamak: $^{1}H + {}^{1}H \rightarrow {}^{2}H + e^{+}$ + nötrino (ν)
2. basamak : $^{2}H + {}^{1}H \rightarrow {}^{3}He$ + foton (γ)
3. basamak : $^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}H + {}^{1}H$ + foton

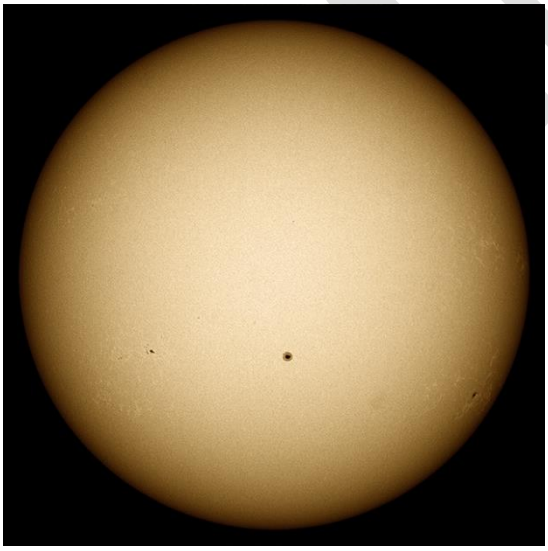


Şekil 6. Güneş'in çekirdeğinde enerji üretimi, p-p çevrimi.

GÜNEŞ'İN ATMOSFER KATMANLARI

FOTOSFER

Güneş, beyaz ışıkta alınan fotoğraflarda, merkezden kenara doğru parlaklığı azalan keskin sınırlı dairesel bir disk şeklinde görülür. Merkez bölgelerde nükleer reaksiyonlarla üretilen enerji dışa doğru özellikle ışınım yoluyla olmak üzere değişik yollarla taşınır.



Şekil 7. Güneş'in beyaz ışıkta alınmış fotoğrafı.

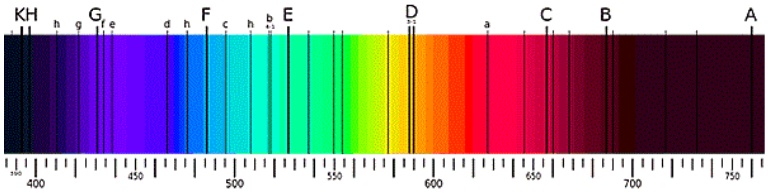
Işınım çok opak (donuk) katmanlardan geçerken, fotonlar Güneş'in akışkanlığını oluşturan yüksek dereceden iyonlaşmış atomlar tarafından soğurulur ve yeniden salınır.

Işınım merkez bölgelerden dışa doğru giderken, her seferinde daha az yoğun ve daha az sıcak katmanla karşılaşır. Hatta opaklık sonunda ışınımı serbestçe yıldızlararası uzaya kaçırabilecek kadar küçük olur. Bu yüzden, artık soğurmanın olmadığı, ışınım salan son katmanın görüntüsü sürekli korunmuş olur.

Işınımın parlak ve dairesel olarak göründüğü son katmana **fotosfer** adı verilir.

Tayflarda dalgaboyuyla değişen sürekli zemin üzerine binmiş **soğurma çizgileri** olarak adlandırılan birçok karanlık çizgi görülür. Bu çizgiler ışınım ile maddenin etkileşimi sonunda oluşur. Kolayca anlaşılacağı üzere karanlık çizgiler, sürekli artalana karşı soğurmayı açıklar.

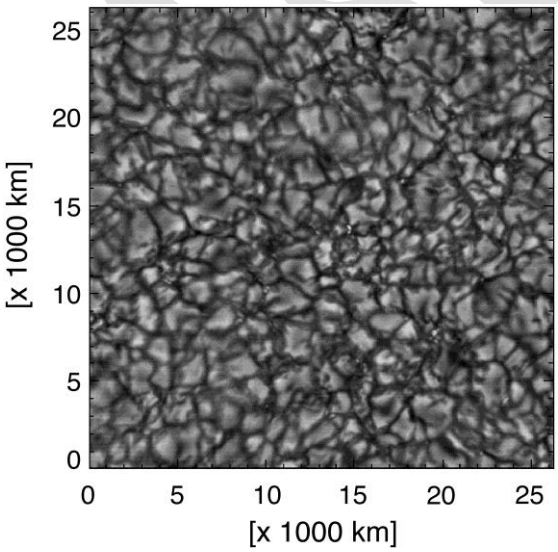
Tayf çizgileri maddenin fiziksel özelliklerini içeren bilgiler taşır. Her bir çizgi, güneş akışkanı içindeki her bir elemente karşılık gelir. Çizginin şiddeti elementin bolluğuyla ilişkilidir. Bu yolla Güneş'in kimyasal yapısı saptanabilir.



İsim	Element	Dalgaboyu (nm)	İsim	Element	Dalgaboyu (nm)
y	O_2	898.765	c	Fe	495.761
Z	O_2	822.696	F	Hβ	486.134
A Yer atmosferi	O_2	759.370	d	Fe	466.814
B kaynaklı çizgiler	O_2	686.719	e	Fe	438.355
C	Hα	656.281	G'	Hγ	434.047
a	O_2	627.661	G	Fe	430.790
D_1	Na	589.592	G	Ca	430.774
D_2	Na	588.995	h	Hδ	410.175
D_3 or d	He	587.5618	H	Ca^+	396.847
e	Hg	546.073	K	Ca^+	393.368
E_2	Fe	527.039	L	Fe	382.044
b_1	Mg	518.362	N	Fe	358.121
b_2	Mg	517.270	P	Ti^+	336.112
b_3	Fe	516.891	T	Fe	302.108
b_4	Mg	516.733	t	Ni	299.444

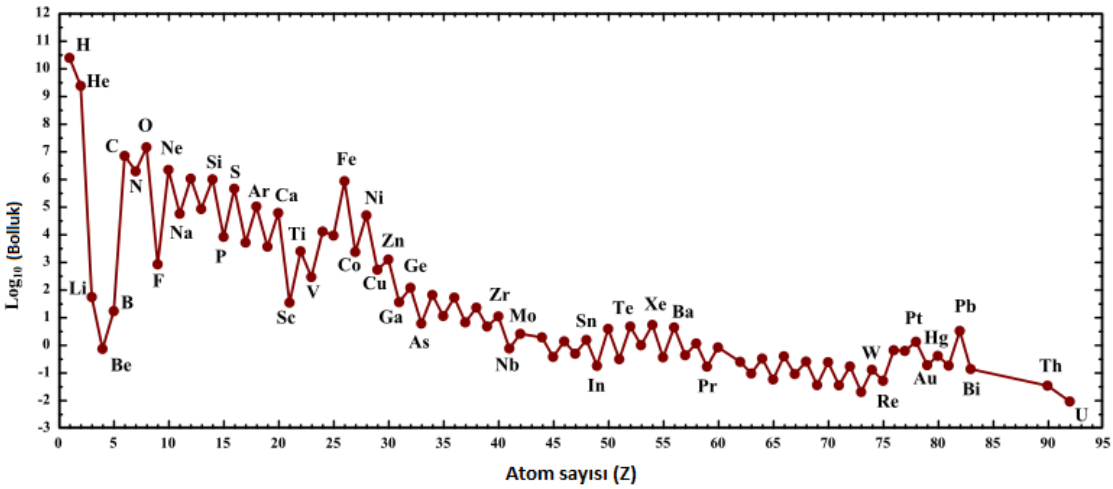
Şekil 8. Güneştayfında baskın görülen soğurma (Fraunhofer) çizgileri.

Güneş'in yüzeyinde görülen parlak noktalar veya granüller (bulgurlar) 1000-2000 km boyutlarına sahiptirler. Bulgurların merkezlerindeki yükselen hareketlerin hızı yaklaşık 1 km/s; yaşam süreleri ise 10 dakikadır. Fotosferdeki bulgurlanma (granülasyon), konveksiyonun dışa doğru aktığının belirtecidir. Granülasyon üzerine binmiş yaklaşık 10 dakika dönemli salınım hareketleri vardır. Granülasyon fotosferdeki konveksiyon hareketleri ile üretilen tek olay değildir. Büyük ölçekli yapılar olan mesogranüller (5000 - 10000 km) ve süpergranülasyonlar (30000 km) da görülebilir. Süpergranülasyon, fotosferik maddenin merkezden kenara doğru olan yatay hareketleridir. Süpergranüler hareketler hapsedilmiş manyetik alanlardan sorumludur. Fotosferde aktif bölgelerin dışında da yeğin manyetik alanlar vardır. Onlar çok küçük yapılardır ve çok yüksek ayırma güçlü gözlemlerle görülebilir.



Şekil 9. *Fotosferde görülen bulgurlanma.*

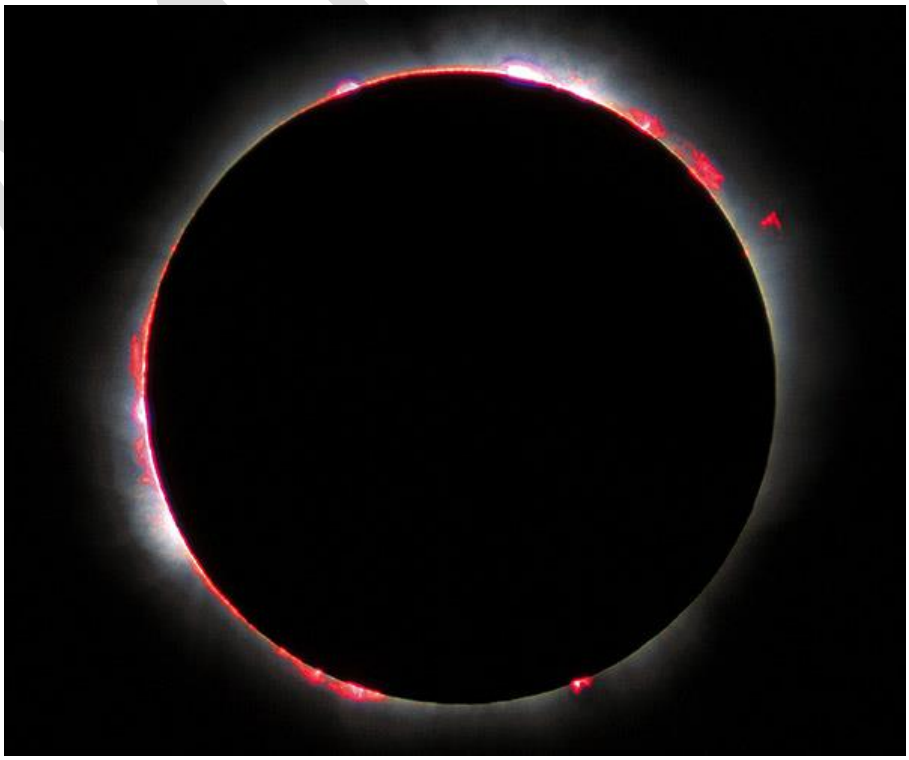
Güneş atmosferinde bulunan elementlerden bolluğu en yüksek olanı hidrojen ve sonrasında da helyumdur. Diğer tüm ağır elementlerin bolluk değerleri onlara göre çok daha azdır. Lityum, berilyum ve bor elementlerinin bolluğu ise normal azalma eğrisinin dışında kalıp, oldukça az bulunmaktadır. Daha sonrakilerden çift sayılı atom sayısına sahip olan elementler tek sayılılara göre, daha çok bolluğa sahiptir. Ağır elementler içinde demir yine olası azalma eğimini bozup, olması gereken sayıdan daha fazla bulunur.



Şekil 10. Güneş' te bulunan elementlerin bollukları.

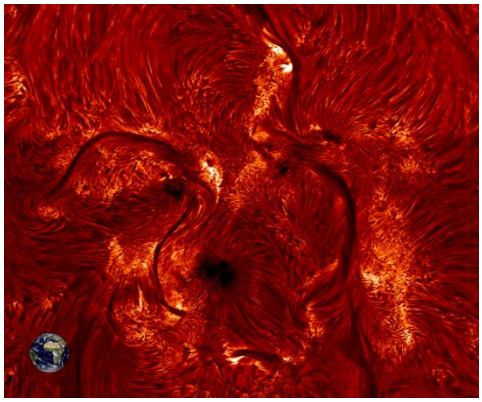
KROMOSFER

Tam güneş tutulması sırasında, Ay diski, parlak fotosferi tam olarak örttüğü zaman, Ay'ın çevresi renkli bir ışık halkası **kromosfer** (renkküre) ile çevrelenmiş gibi görünür. (Ay'ın Güneş fotosferini tam olarak örtmesinin nedeni her ikisinin de açısal çaplarının birbirine eşit olmasıdır; yaklaşık 32 yaydakikası)



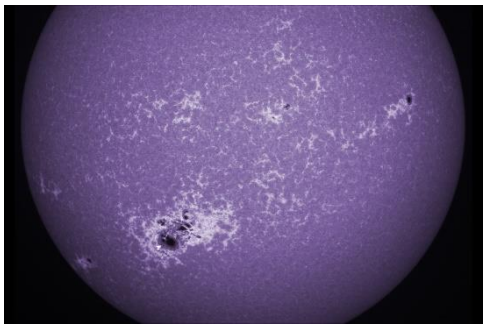
Şekil 11. Tam güneş tutulması sırasında görülebilen kromosfer katmanı.

Tam güneş tutulması olmadığı zamanlarda yapacağımız tayfsal gözlemler sayesinde, tayfın sürekli zemini üzerinde karanlık soğurma çizgileri gözleriz. Bu çizgilerin kararma derecesinin sonuçları farklı nedenlerle açıklanır. Çünkü güneş maddesi bu dalgaboylarında soğurma yapar ve aslında fotosferden daha ötedeki katmanların yapısını da ortaya koyar.



Şekil 12. Fibriller.

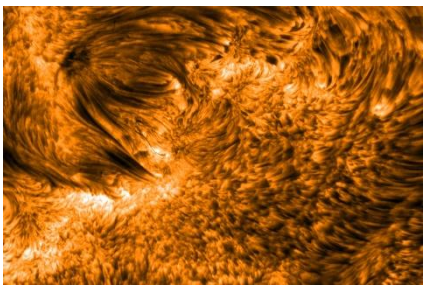
Bunun dışında, kromosferin ayrıntılı yapısı fotosferinkinden çok farklıdır. Özellikle hidrojenin kırmızı Hα çizgisinde görülen granüller daha basık, uzamış konveksiyon hücre yapıları olarak karşımıza çıkar. Güneş lekelerinin yakınında görülen bu yapılara **fibril** adı verilir. Bir mıknatısın iki uçlağı arasına düşen demir tarafından oluşturulan desenleri temsil ederler. Manyetik alan kromosferdeki yapıların saptanmasında önemli rol oynar.



Şekil 13. Kromosferik ağ.

Kalsiyumun yakın moröte H ve K filtrelerinde elde edilen görüntüler farklı yapıyı daha iyi açıklar. Çünkü bu bantlar sıcaklığa ve yoğunluğa farklı bir duyarlık gösterir. Bu bantlar **kromosferik ağ (network)** olarak adlandırılan büyük-ölçekli bir ağının varlığını belirler. Bu ağ, çapları 30000 km'ye varan, granüllerden daha büyük boyutlu, konveksiyon bölgesindeki hücrelerle ilişkilidir.

Kromosferik ağının her birinin kenarında manyetik alan yoğunlaşması vardır; bunlar **spikül** adı verilen madde kaçışlarına neden olur. Spiküller birkaç 10 km/s'lik kaçma hızlarına sahip olan ve birkaç dakika içinde son bulan jet yapılardır. Hα'da kolayca gözlenebilen spiküller, değişik yüksekliklere ulaşırlar. Bunların sayısı kromosferin kenarının düzensiz bir yapıda görülmesine neden olur.



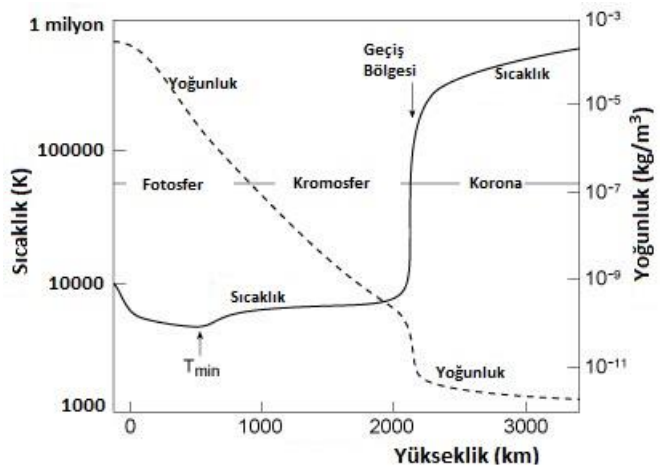
Şekil 14. *Spiküller.*

Şekil 15. Güneş yüzeyinde filament yapılar.

Güneş diski kenarında Hα filtresinde çok rahat görülebilen **dev alevlerin (prominence),** Güneş'in dönüşü içinde disk üzerinde gösterdiği izdüşüm görüntü, karanlık **filamentler** olarak görünür. Genelde bu filamentler diskin yüzeyinde manyetik uçlakların değişimi sonucunda oluşur. Bunların güneş meridyenine göre eğimleri diferansiyel dönme tarafından oluşturulan alan bozulmasından kaynaklanır.

AstroBilgi

Görsel bölgedeki kromosferik tayf çizgileri özellikle karanlıktır. Ancak, bu durum sıcaklığın fotosferden kromosfere doğru sürekli azaldığını açıklamaz. Sıcaklık fotosferin üstünde 4300 K'de minimum yapar ve kromosferde 10000 K'den daha fazlasına kadar yükselir. Çizgiler, yoğunluk çok düşük olduğunda soğurma olarak görülür.



Şekil 16. Fotosfer, kromosfer ve koronanın sıcaklık değişimi.

Güneş'in milimetre dalgaboylarında yapılan gözlemleri, kromosfer ışınımının yaklaşık kara cisim ışınımı olduğunu göstermektedir. Sıcaklıktaki artışa rağmen çizgilerin görünür bölgede disk üzerinde neden soğurma olarak göründüğünü anlamak nispeten kolay olmasına rağmen bu sıcaklık artışını açıklamak zordur. Olay kromosferin üstünde önem kazanmaktadır: koronadan kromosferi ayıran birkaç yüz kilometrelik bölgede, sıcaklık aniden milyon derecelere ulaşmaktadır.

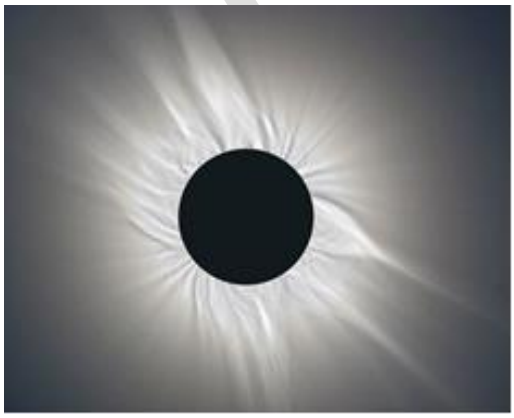
KORONA

Korona, tam güneş tutulması anında Güneş'in etrafında görülen **beyaz ışık halosu**dur. **İç korona**, diskin kenarından iki güneş yarıçapına kadar uzanır ve çok uzaklara kadar genişlemiş olan **dış korona**dan ayırt edilebilir. Korona, elektromanyetik tayfın X-ışınları bölgesinden radyo bölgesine kadar olan tüm dalgaboyu bölgelerinde gözlenebilir.

Beyaz Işıkta Gözlemler

Tam güneş tutulması anında beyaz ışıkta veya koronograf yardımı ile alınmış görüntüler, koronanın küresel yapıdan uzak, büyük değişiklikler gösteren yapısını açıklar. Bu görüntüler içinde en meşhur olanları büyük jet akıntılardır. Bunların her biri 3-4 güneş yarıçapı uzaklara kadar uzar ve koronal madde, uç kısımlarından süpersonik hızlarla ayrılır.

Bunların dışında en karakteristik yapılar dev alevlerdir. Uçlak bölgelerinden çıkıyor gibi görünürler ve manyetik alan çizgilerinin görüntüsünü alırlar. Jetler ve dev alevler koronal manyetik alanın görünüşünü üretirler. Bundan dolayı bütün jetler aynı yapıdadır: hemen hemen paralel çizgiler formundaki açık alan çizgi yumağı altında, eğrilmiş tabanlı kapalı alan çizgileridirler. Dış korona gibi iç korona da Yer-konuşlu koronograflarla tek renk görsel ışıkta gözlenmektedir. Disk kenarından 100000 km uzaklara varan iplik sistemlerle düzgün olmayan bir yapı sergilemektedir. Sürekli korona gözlemleri koronanın aydan aya değil saatten saate bile değişim gösterdiğini ortaya koyar.



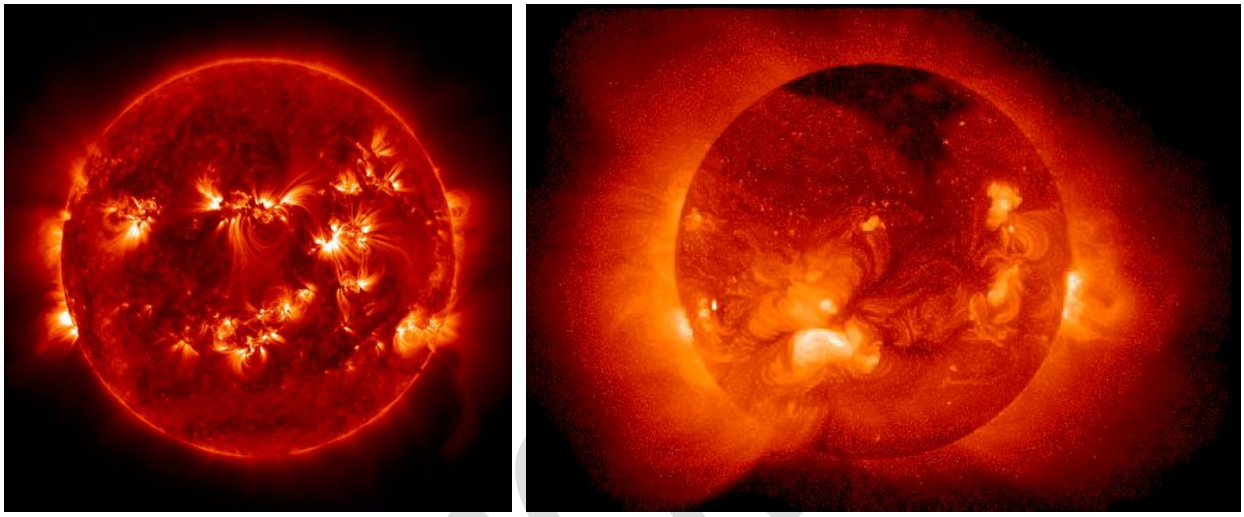
Şekil 17. Beyaz ışıkta alınmış korona görüntüsü.

AstroBilgi

Bazı jet yapılar birkaç ayda son bulurken, büyük jetler birkaç haftada evrimleşir. Dev alevler ise birkaç on saat kadar sürer. Genelde güneşin aktivitesiyle ilişkili olan bu yapılar, evrimlerini manyetik alanlara göre ayarlar.

Uzak Moröte ve X-Işın Gözlemleri

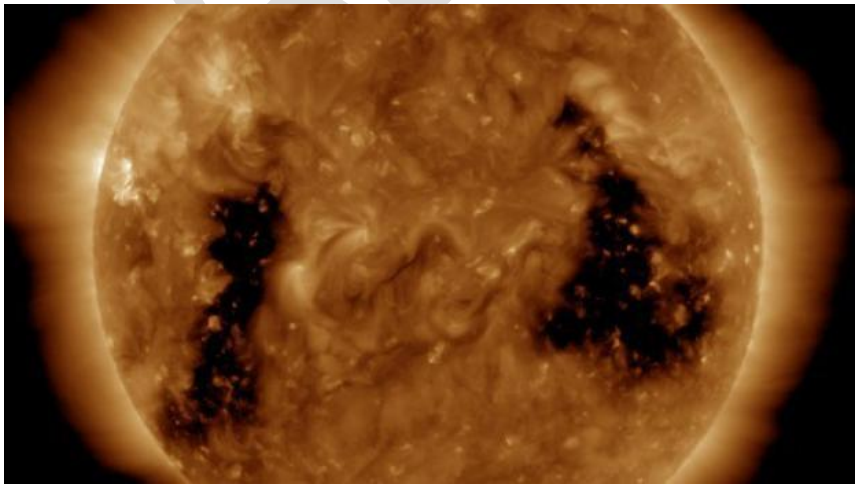
Beyaz ışıkta yapılan gözlemler Güneş diskinin ötesindeki koronanın yapısını açıklarken, uzak morötede alınan fotoğraflar, disk üzerinde izdüşüm olarak görülen korona hakkında bilgi verir. Tayfın bu bölgesinde fotosfer güçlükle görülürken, korona enerjisinin büyük çoğunluğunu burada salar. Daha kısa dalgaboylarında koronanın daha yüksek katmanlarını gözleriz.



Şekil 18 (a). Koronanın uzak moröte görüntüsü (b). Koronanın X-ışınlarında alınmış görüntüsü.

Uzak moröte tek-renk ışıkta alınan görüntüler bize kromosfer ve korona arasındaki geçiş bölgesini incelememizi sağlar. Bu görüntüler kromosferik ağın, geçiş bölgesinin üstlerinde daha bulanıklaştığını ve korona içinde tamamen kaybolduğunu gösterir. Yapıdaki yüksekliğe bağlı olan değişimlerin manyetik alanlarla ilişkili olduğu ileri sürülmektedir.

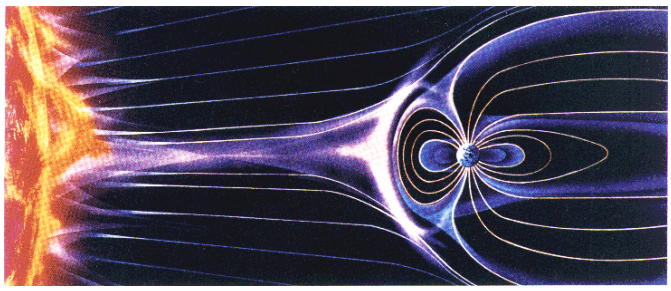
İç koronanın X-ışın görüntüleri, X-ışın salmasının disk üzerinde belli bölgelerden salındığını gösterir. En parlak bölgeler, beyaz ışık fotoğraflarında kenara yakın yerlerde görülen parlak bölgelerle uyum içindedir. Buna göre korona, ilmik benzeri yapılar içerir ve bunların boyutu yakınındaki aktivitenin miktarına bağlıdır. X-ışın fotoğrafları daha önce koronada hiç görülmemiş yapıları da gösterir: Işığın bile kaçamadığı karanlık yarıklar veya deliklere **koronal delikler** denmektedir.



Şekil 19. Koronal delikler.

GÜNEŞ RÜZGARI

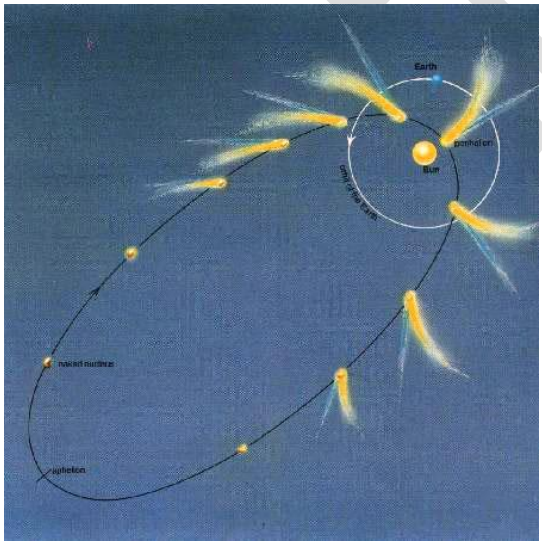
Güneş rüzgarı koronanın bazı kısımlarını süpersonik hızlarla gezegenlerarası ortama iten bir güneş olayıdır. Güneş tarafından sürekli beslenen bu rüzgar, Yer'i yaklaşık 400 km/s'lik bir hızla geçer ve hatta daha ilerde güneş sisteminin kenarından yıldızlararası ortama karışır. Gezegenlerin ve kuyrukluyıldızların etrafından geçişte, aradaki gazları buharlaştırır. Etkisi yıldızlararası ortamda bile hissedilirken Yer atmosferinde aurora olayını ve manyetik fırtınaları oluşturur.



Şekil 20. (a) Güneş rüzgarının yer atmosferiyle etkileşim modeli (b) Yer atmosferinde oluşturduğu aurora.

Güneş rüzgarının varlığı zaman içinde yavaş yavaş anlaşıldı. İlk defa 1896 yılında Norveçli fizikçi Olaf Kristian Birkeland tarafından saptandı ve Güneş'ten Yer'e ulaşan ışınlardan farklı bir formda olduğu bulundu. Aurorayı oluşturan elektrik yüklü parçacıklar olarak önerildi. Yer'in manyetik alanı ile kutup yakınında etkileştiği düşünüldü. Diğer bir olay olarak geomanyetik fırtınalar gösterildi. Bu fırtınalar telsiz ve telefon görüşmelerinde kesikliklere neden oluyordu.

Daha sonraları yapılan Güneş ve geomanyetik gözlemler, bu fırtınaların görünümü ile güneş patlamalarının görünümü arasında bir ilişki olduğunu, patlamaların bir veya iki gün daha önce görüldüğünü açıkladı. 1930 civarında Sydney Chapman ve V.C.A. Ferraro, Güneş tarafından fırlatılan bir iyon bulutunun saniyede 1000-2000 km gidebileceğini ve Yer'e bir veya iki gün içinde ulaşabileceğini hesapladılar.



Güneş'ten çıkan parçacık salmalarına ait üçüncü delil 1940'lı yılların sonunda gökada içi kozmik ışın çalışmalarından geldi. Scott Ellsworth Forbush, Yer'e ulaşan kozmik ışınların Güneş aktif iken düşük yeğinliklere sahip olduğunu ve manyetik fırtınalar boyunca sık sık kesildiğini buldu.

Güneş rüzgarının varlığına ait en çarpıcı delil 1950'li yıllarda Ludwig F. Biermann'dan geldi. Delil kuyrukluyıldızların kuyruğuydu. Bilindiği gibi kuyrukluyıldızların kuyruğu Güneş'ten uzak tarafa doğru yer değiştirir. Bu durum kuyrukluyıldızın yörüngesi üstündeki konumdan bağımsızdır.

Şekil 21. Güneş rüzgarının varlığını gösteren en iyi delillerden biri de kuyrukluyıldızların hareket yönlerine göre kuyruğunun yönü gösterilir.

Güneş rüzgarı 10 AB'ye (Satürn'ün yörüngesi) kadar etkili olmaktadır ve koronadan çıkanların büyük çoğunluğu H ve He elektronları ve iyonlarıdır. Yer yörüngesinde onun yoğunluğu cm^3'de 10 parçacıktan daha az olmaktadır. Hızı da 400 km/s'den daha küçüktür. Güneş, bu işlem sırasında saniyede

1 milyon ton hidrojen kaybetse bile, bu kayıp boşlanabilir. Güneş'in tüm kütlesini gezegenlerarası ortama yayması 10^{14} yıl alır. Ancak, Güneş'in yaşı 10 milyar olarak kabul edilir; Güneş, daha fazla kütleyi ışınım yoluyla kaybetmektedir.

AKTİF GÜNEŞ

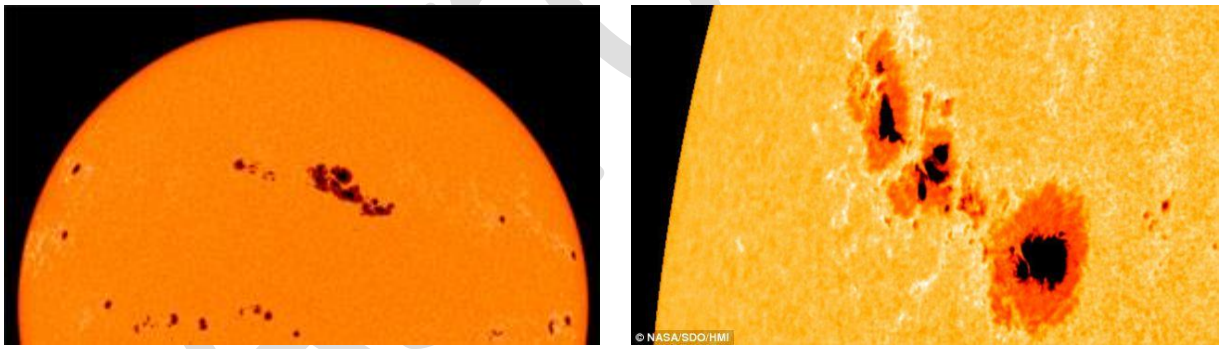
Aktif Bölgeler

Fotosfer, kromosfer ve korona Güneş'in soğan zarı gibi üst üste binmiş katmanlarıdır. Bu katmanlar homojen değildir ve zamanla değişen belli özellikleri olan yayılmış yapılar içerirler. 1611 yılında David Fabricius ve Galileo, Çinliler tarafından gözlenmiş olan **güneş lekelerini** belirlediler. 1843'de, amatör astronom Samuel Heinrich Schwabe **güneş çevrimini**, 1859'da ise Richard Christopher Carrington ve Richard Hodgson **güneş patlamalarını** gözlemiştir.

Bu üç olay güneş aktivitesinin temel göstergeleridir. Güneş lekeleri en az aktivite gösteren yapılardır. Yakın bölgelerden yaklaşık 1700 K daha soğuk oldukları için "**karanlık**" görünürler. Tam gölgenin (umbranın) merkez bölgelerinde sıcaklık 3000 K'e düşebilir. Fakülalar, filamentler ve lekeler hiç değişmeden bir kaç güneş dönüşü içinde yaşamlarını sürdürebilirler.

1908 yılında George Ellery Hale bazı tayf çizgilerinin lekeler boyunca ikiye yarıldığını görmüştür. Zeeman etkisi olarak bilinen bu ikiye yarılma, salınan ışık üstünde manyetik alanın etkili olduğunu gösterir. Yarılmanın şiddeti Güneş'in yüzeyinde 2500-3000 Gauss'a (G) varan (Yer'in alanından 6000 kat daha şiddetli) manyetik alan yeğinliğiyle doğru orantılıdır.

Güneş'in manyetik alanı bazen konveksiyonu bastıracak kadar yeğindir. Güneş atmosferinde lekelerin üstünde daha yukarılara çıkıldıkça daha değişik olaylarla karşılaşılır. Manyetik basınç gaz basıncından daha baskındır. Karanlık veya parlak filamentler kuvvet çizgilerinin şeklini alır. Lekenin merkezinde toplanırlar.



Şekil 22. Karanlık güneş lekeleri ve etraflarında görülen parlak fakülalar.

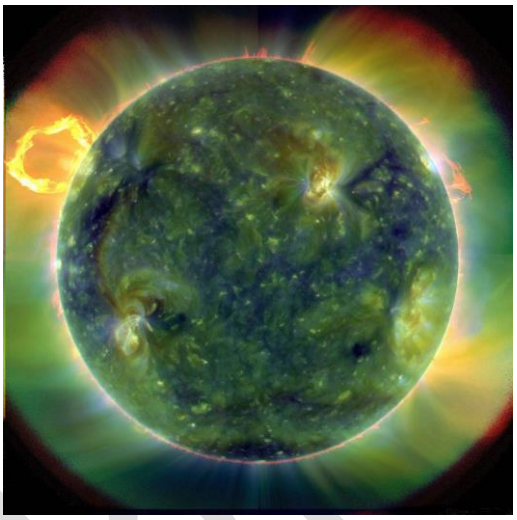
Şekil 23. Hα filtresinde çekilmiş dev alev.

Bir aktif bölgenin manyetik haritası kuvvetli alanların lekelere özgü şeyler olmadığını gösterir. Manyetik alanlar parlak bölgeler olan **fakülalar** da görülebilir. Fakülaların parlaklığı yüksek sıcaklıkla açıklanmaktadır. Fakülalar gibi parlak sıcak bölgelerin lekeler gibi karanlık soğuk bölgelerle nasıl aynı şiddette manyetik alana sahip olduklarını anlamak oldukça zordur. Eugene N. Parker'a göre bu durum konvektif manyetik alanın değişen yapısından kaynaklanmaktadır.

Güneş Patlamaları

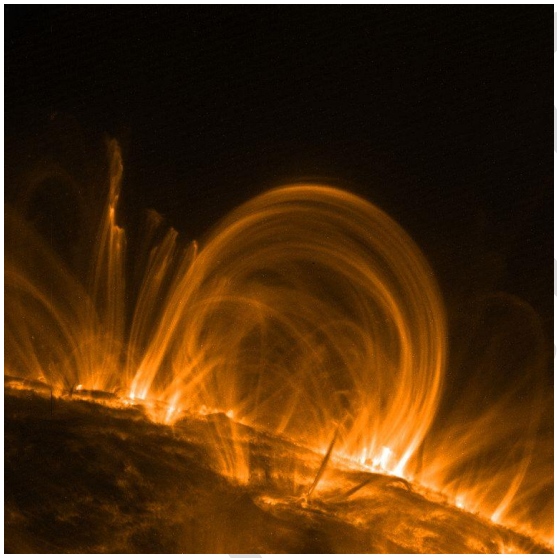
Güneş atmosferi, Yer'den bile hissedilebilen büyük patlamalarla dönemli olarak çalkalanır. Bulunuşları leke gözlemlerinden ancak 200 yıl sonra olmuştur. Çünkü beyaz ışıkta çok seyrek olarak görünürler. En iyi ve en sık gözlemler Hα'da yapılmaktadır.

Bir patlama 5 milyon km^2'lik bir alan üzerindeki ani parlaklık artışı ile karakterize edilir. Bu gibi bir bölgenin Hα çizgisi alt kromosferde görüldüğü için soğurma yerine, salma olarak kaydedilir. Alt kromosferin karakteristik moröte (UV) salma çizgilerinde de bozulmalar bulunmuştur. Aslında gamma-ışınlarından radyo dalgalarına kadar tüm elektromanyetik tayf aniden değişir. Sürekli zemin ve tüm çizgiler daha şiddetlenir. Patlamanın komşuluğundaki tüm katmanlar tedirgin olur.



Şekil 24. Moröte ışıkta kaydedilmiş dev alev.

Patlamalı olayların geniş bir sınıflama aralığı vardır. Geometrisi, yaşam süreleri, tayf yapısından daha çok salma alanlarına göre sınıflanır. Ortak özellikleri olayın aniden olmasıdır: bir dakikadan daha kısa bir zaman içinde çizgi şiddetindeki 10 kattan daha fazla artış olduğunda, bu evre "**flash**" evre olarak adlandırılır. Daha sonra birkaç on dakika veya saat içinde salma normal düzeyine geri döner. Patlama olayından sonra güneş atmosferi nispeten tekrar sakin olur. Fakat daha sonra diğer patlamalar gelecektir. Bazıları eskilerle aynı yerde olur. Bunlar birbirine benzer patlamalar olarak adlandırılır.



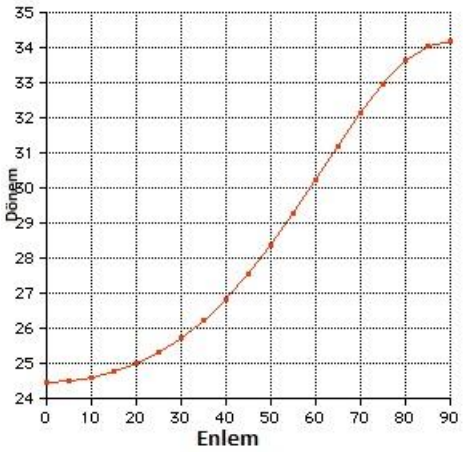
Şekil 25. Aktif bölgeler üzerinde görülen manyetik ilmikler.

Maddenin bu gibi hareketleri görülmeye değer ve patlamanın ismine layık olan olaylardır. Her ne kadar daima güneş diskinin merkezinde görülmeseler de kenar üstündeki görüntülerinde ilmiklere ve kavislere rastlanır.

İlmikler, zıt manyetik uçlaklı iki bölge arasındaki madde akışını sağlayan köprülerdir. Patlamalar bu gibi iki bölgenin birbirine geçtiği yerlerde sıklıkla olur ve çift filament patlama olarak isimlendirilir.

Güneş Çevrimi

Güneş üstünde lekeler (sunspots), gözenekler (pores), fakülalar (faculae) gibi yeğin manyetik alan bölgeleri gözleriz. Bu alan atmosferin üst katmanlarına çıktıkça artan bir öneme sahip olur. Fakat bunlar nerede ve nasıl olur? Şurası açıktır ki atmosferin altında, $2x10^{30}$ kg'lık büyük bir gaz topu dönmektedir. Hareket ettikçe elektronlar ve protonlar bir elektrik akımı ve dolayısıyla bir manyetik alan üretmektedir. O halde Güneş, dev bir dinamodur.



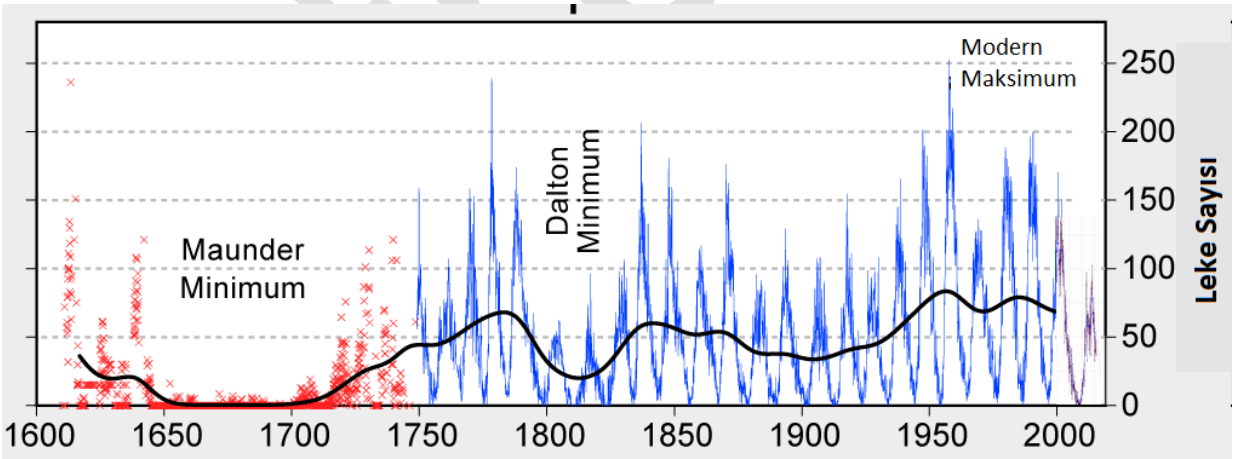
Şimdi bu dinamoyu daha yakından inceleyelim ve Güneş döndükçe ortaya çıkan olayların kökenini ve evrimini inceleyelim:

Güneş'in Yer'den ölçülen (sinodik) dönüşü ~27 günlük bir döneme sahiptir. Fakat eşlek (ekvator) bölgeleri diğer bölgelerden daha hızlı döner. Eşlek bölgesinde bir tam dönüşünü ~26 günde tamamlayan Güneş, 60° enleminde bu dönüşünü ~31 günde tamamlar. Bu dönme biçimine **diferansiyel dönme** denir.

Şekil 26. Güneş'in enleme göre dönme dönemi değişimi

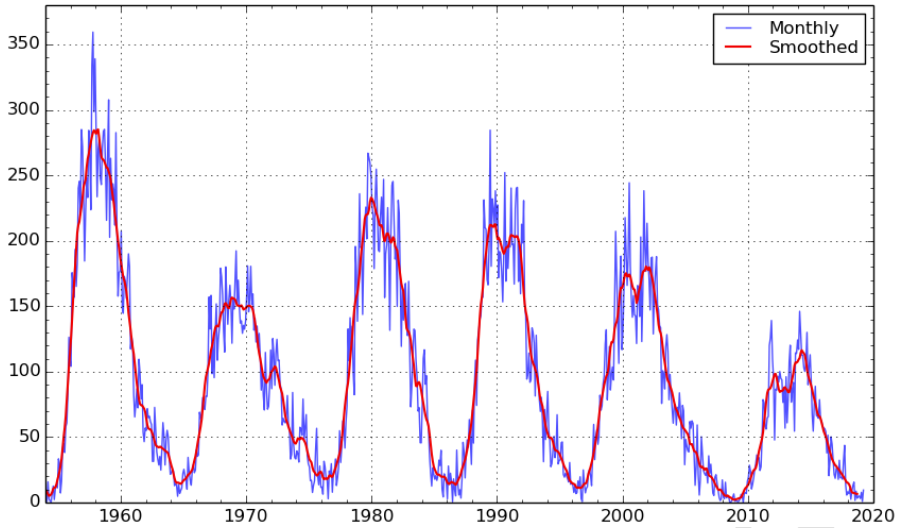
Aslında, Güneş çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu büyük dinamo, dönemli değişimler gösterir: güneş lekeleri gözlemlerinden çıkan sonuçlara göre kabaca her 11 yılda bir (dönem daha ziyade 9 ile 13 yıl arasında değişir) manyetik alan yön değiştirir. Buna göre esas manyetik çevrim 22 yıllıktır. Güneş lekelerinin en fazla sayıda görüldüğü zaman dilimine **güneş maksimumu** denir. Böyle anlarda yer atmosferinde **aurora** olayında artış görülür. Yer'in manyetik alanında bozulmalar, telsiz haberleşmelerinde ve hatta elektrikle çalışan güç kaynaklarında kesilmeler olur. Uzaydaki astronotlar tehlike içinde kalırlar. Alçak yörüngedeki uyduların yaşam süreleri kısalır.

Bu etki çok eskiden beri var olduğu için, tarih içinde Yer'de yaşanmış olaylar bize güneşin tarihi hakkında bilgi kazandırabilir. Güneş lekelerinin sayısının veya güneş çapının ölçümü gibi doğrudan kayıtlar yalnız Galileo'nun teleskobuyla başlamış ve farklı gözlemciler tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir.



Şekil 27. 400 yıllık güneş lekesi gözlemlerinden elde edilen leke sayısı değişimleri.

1650 ile 1700 yılları arasında **Maunder Minimum** olarak da adlandırılan lekelerin gözlemlerin sürekli yapılmasına rağmen hemen hemen hiç görünmemesi, kayıtlara geçmiş ve Avrupa'da yaşanan soğuk iklimle eşleştirilmiştir. Güneş aktivitesinin Yer iklimine etkisi incelendiğinde, stratosferik ısınmayla güneş maksimumu arasında bir ilişki görülmesine rağmen, son yüzyıl içindeki verilere göre dünyanın ortalama sıcaklığı ile güneş çevrimi arasında özel bir ilişki bulunamamıştır.

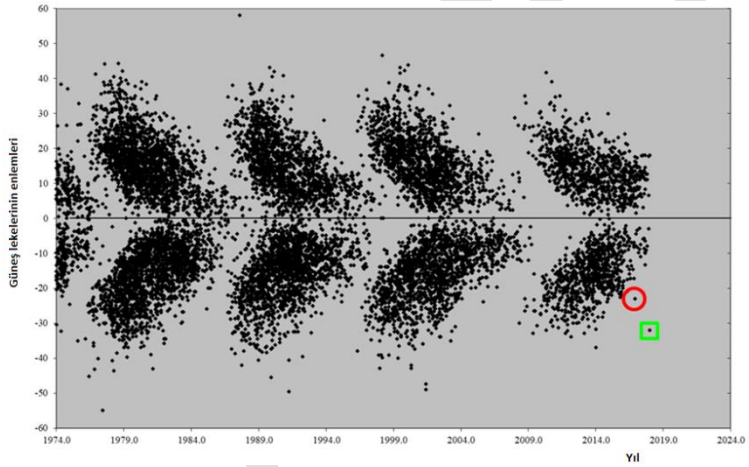


Şekil 28. Güneş lekesi sayılarının değişimi. Düşey eksen: Leke sayısı; Yatay eksen: Yıl.

Manyetogramlar manyetik alanın yeğinliği ve yön değiştirmesi hakkında bilgiler verir. 11 yıl arayla iki maksimum arasında elde edilen manyetik haritalar iki yarıküredeki alanların tamamen yön değiştirdiğini gösterir. Ayrıntılı çalışmalar kutuplardaki alanların güneş tam maksimumdayken işaret değiştirdiğini ortaya koyar.

Kelebek Diyagramı

Eğer güneş lekeleri her gün sayılır, **Wolf sayısı** olarak adlandırılan ortalaması alınır ve yıllara göre noktalanırsa, yaklaşık 11 yıl dönemli bir değişim ortaya çıkar. Ancak, her bir çevrim aslında kendi içinde ve çevrimden çevrime de düzensizlikler gösterir. Gözlenen lekelerin bulunduğu enlemler, zamana göre çizilirse **Kelebek Diyagramı** adı verilen bir değişim ortaya çıkar. Bu diyagram bugüne kadar sistematik olarak gözlenerek toplanmış verilerin birleştirilmiş halini gösterir. Dikkat edilirse ~11 yıllık dönem ve iki karakteristik zaman vardır: bir maksimum ve yaklaşık 2-3 yıl süren bir minimum.



Şekil 29. Kelebek diyagramı. Güneş lekesi enlemlerinin zamana göre değişimi; kırmızı ve yeşil kutular yeni çevrimin başlangıç lekelerine ait olabilir.

Bu diyagram çok zengin bir bilgi deposudur;

1. Kanatlar ±45° enleminden yukarı çıkmaz. Yani lekeler her iki yarıkürede de bu enlemlerin üstünde oluşmaz.
2. Kanatlar "V" şeklindedir. Lekeler öncelikle 30° - 40° enlemlerinde görülürler ve eşleğe doğru hareket ederler.
3. ±5° enlem dairesi içinde kalan eşlek bölgesi kutuplar gibi lekesizdir.