

AKTİF GALAKSİLER

- **Galaksilerin Tayfları**
- **Aktif Galaksilerin Türleri**
- **Merkezi Motor**
- **Aktif Galaksi Modelleri**
- **Aktif Galaksilerin Kökeni ve Evrimi**

Galaksilerin Tayfları

Şekil 3.1. F5 türü bir yıldızın optik tayfı, tayfsal akı yoğunluğuna karşı dalgaboyu grafiğinde verilmiştir.

- Bir yıldızın tayfı normal olarak sürekli bir ısısal tayf üzerine biniş soğurma çizgilerinden oluşmaktadır. Soğurma çizgileri yardımıyla yıldız hakkında birçok bilgi edinilebilir.

Gaz - HII Bölge Tayfı

Şekil 3.2. Salma çizgileri gösteren tipik bir HII bölgesi tayfı. HII bir kez iyonize olmuş hidrojeni, NII bir kez iyonize olmuş azot atomunu, OII ve OIII bir kez ve iki kez iyonize olmuş oksijeni, [NII], [OIII] ve [OII] bu iyonlardaki elektronik geçişleri göstermektedir. Parantezler yasaklı çizgileri göstermektedir. H_alfa, H_beta ve H_gama hidrojenin Balmer çizgileridir.

HII bölgesinin optik tayfı sadece birkaç emisyon çizgisi içermektedir.

Normal Galaksi Tayfı

Şekil 3.4. Normal bir galaksi olan NGC 4750'nin optik tayfı. Tayf soğurma çizgileri ve bazı salma çizgileri içermektedir.

Spiral bir galaksinin tayfı yıldız ışığından kaynaklanan sürekli bir tayf, yıldızdan kaynaklanan birkaç sığ soğurma çizgisi ve HII bölgelerinden gelen oldukça zayıf birkaç emisyon çizgisinden oluşmaktadır.

Farklı yıldızların tayfları birleştirilerek bir galaksi tayfı elde edilecekse;

← 1- Farklı tür yıldızlar farklı tür soğurma çizgileri içerirler. Tayflar bir araya getirilirken bir soğurma çizgisi her yıldızda bulunmayacağı için soğurma çizgilerinin etkisi azalacaktır.

← 2- a) Galaksinin kırmızıya kaymasından dolayı tüm tayf çizgileri kırmızıya kayma etkisi içerir (Doppler kayması)

← b) Galaksi içindeki cisimlerin hareketlerinden dolayı soğurma çizgileri genişler ve sığlaşır (Doppler genişlemesi)

Şekil 3.3. Bir tayf çizgisinin kaynağı bakış doğrultu boyunca farklı hızlarda hareket eden atomlar içerdiğinde Doppler genişlemesi meydana gelir. (a) Bu durum (b) bir gazdaki atomların ısısal hareketiyle (c) bir galaksinin dönme hareketiyle (d) gazın içe ya da dışa doğru akmasıyla (e) gaz bulutundaki düzensiz hareketlerle meydana gelebilir.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \Delta v/c$$
$$\Delta v = \left(\frac{2kT}{m}\right)^{1/2} [k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}]$$

Doppler genişlemesi salma ve soğurma çizgilerine eşit olarak uygulanır.

Eliptik Galaksi Tayfı

- Populasyon sentez modeline benzer
- Daha geniş ve sıg soğurma çizgileri
- HII bölgeleri olmadığı için emisyon yok
- Genel olarak K-türü soğuk yıldız tayfına benzer. Çünkü galakside soğuk dev yıldızlar baskındır

Şekil 3.5. Bilinmeyen bir galaksinin tayfı.
Normal galaksidekilerle yaklaşık olarak aynı genişliğe sahip güçlü emisyon çizgileri göstermektedir.

HII bölge tayfı

Normal galaksi tayfı

SORU: Bu galaksinin tayfı diğer tayflarla ile kıyaslandığında aralarındaki fark nasıl yorumlanır?

CEVAP: Bu tayf oldukça güçlü tayf çizgilerine sahiptir. Şekil 3.2'deki HII bölgesinin tayfına benzemektedir. Yıldız soğurması görülse bile çizgi tayfı yıldızlardan ziyade HII bölgeleri tarafından oluşturulmaktadır. Dolayısıyla, normalden daha çok HII bölgesine sahip bir galaksi tayfı denilebilir.

Aktif Galaksi Tayfı

Şekil 3.6. Aktif bir galaksinin optik tayfı.

- Şekil 3.4'teki normal galaksi tayfından daha güçlü ve geniş emisyon çizgileri göstermektedir.
- Ayrıca bu çizgiler şekil 3.5'teki yıldız patlama galaksilerinin çizgilerinden de daha geniştir.

Geniş Bant Tayfı

şekil 3.7. Güneş'in geniş bant tayfı. Kesikli çizgiler akı yoğunluğunun değiştiği bölgelerdeki maksimum ve minimumu göstermektedir.

- Optik bölgede güçlü bir maksimuma sahiptir. Bu maksimuma X-ışın, kırmızıöte ve radyo dalgaboylarından küçük katkılar bulunmaktadır.

Şekil 3.8. Normal bir spiral galaksinin geniş bant tayfı.

- Maksimum daha uzun bir dalgaboyunda meydana gelmiş olmasına rağmen genel olarak Güneş'in geniş bant tayfını andırmaktadır.
- Ayrıca X-ışın, kırmızıöte ve radyo dalgaboylarında göreceli olarak daha büyük tayfsal akı yoğunluklarına sahiptir.

SORU: Bu galaksi X-ışın bölgede mi yoksa uzak kırmızıöte bölgede mi daha parlaktır?

CEVAP: Tayfsal akı yoğunluğu X-ışın bölgesinde en yüksektir. Dolayısıyla galaksi X-ışın bölgesinde uzak IR'ye göre daha parlak görünür. ???????????

Şekil 3.9. Şekil 3.8'de verilen galaksinin tayfsal enerji dağılımı.

- Bu eğrinin maksimum noktası gerçekten optik bölgededir.
- Ancak, uzak IR bölgesinde X-ışın bölgesine kıyasla daha çok enerjinin serbest bırakıldığı görülmektedir.

Büyük mavi tümsek



Şekil 3.10. Bir aktif galaksi olan Quazar 3C273'ün tayfsal enerji dağılımı.

SORU: Normal bir galaksinin tayfsal enerji dağılımı ile aktif bir galaksinin enerji dağılımı arasındaki en büyük fark nedir?

CEVAP: Maksimum salmalar karşılaştırıldığında aktif galaksinin enerji dağılımı normal spiral galaksiye göre daha düzdür. Buradan, X-ışın ve radyo dalgaboylarında çok daha fazla emisyon olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3.11. NGC 7714 galaksisinin tayfsal enerji dağılımı.

SORU: Şekildeki enerji dağılımından yola çıkarak bu galaksinin ne tür bir galaksi olduğu söylenebilir?

Seyfert Galaksileri

Şekil 3.12. NGC 4051 Seyfert türü galaksilerin bir üyesidir. Bu optik görüntüde (440 nm dalgaboyu civarında) galaksinin nokta benzeri çekirdeğinden gelen yoğun emisyon açıkça görülmektedir. NGC 4051 Samanyoluna göreli olarak yakındır. Uzaklığı 17 Mpc'tir.

- Normal galaksilerle kıyaslandığında, Seyfert galaksileri uzak kırmızı öte ve diğer dalgaboylarında aşırı ışınım yaymaktadırlar.
- Optik bölge dahil bazı dalgaboylarında bu aşırı ışınım değişkenlik göstermektedir.
- Bu değişkenlikten emisyonun galaksiye kıyasla çok küçük bir bölgeden geldiği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3.13. İki Seyfert galaksisinin optik bölge tayfları. a) Markarian 290, Tip I Seyfert. b) Markarian 270, Tip II Seyfert. Hidrojen çizgileri, özellikle de H_{β} ve H_{γ} (a) da geniş ve oldukça belirgin, (b) de ise daha dar ve zayıf görünmektedir.

Parlak çekirdeğin tayfındaki emisyon çizgilerinin genişliğine göre Seyfertler iki gruba ayrılır.

Tip I – (Şekil 3.13a) – Çoğunlukla yasaklı çizgilerden oluşan dar emisyon çizgileri (400 km/s genişlik) ve izinli çizgilerden oluşan geniş emisyon çizgileri (10000 km/s genişlik)

Tip II – (Şekil 3.13b) – Belirgin dar emisyon çizgileri. Geniş çizgileri yok ya da çok zayıf.

Kuazarlar

Şekil 3.15. 3C 273 galaksisinin optik tayfı. Oklar belirgin hidrojen çizgilerinin normal dalgaboylarından olan büyük kırmızıya kaymalarını göstermektedir.

- Kırmızıya kayma değeri 0.158'dir. Bu değer 660 Mpc uzaklığa karşılık gelmektedir.
- Kuazarların çoğu büyük kırmızıya kaymalara sahiptir.
- Bilinen en büyük kırmızıya kayma değeri 7.1'dir. (30000 Mpc = 30 Gpc)
- Dolayısıyla tüm kuazarlar oldukça parlak cisimlerdir.

Şekil 3.16. 700'den fazla kuazarın ortalama optik tayfı. Tayflar kırmızıya kaymadan arındırılmıştır. Geniş salma çizgileri dikkat çekmektedir.

- Kuazarların tayfları Seyfert tip I tayflarına benzemektedir.
- Belirgin geniş çizgiler ve oldukça zayıf dar çizgiler mevcuttur.
- Atomik hidrojende $n = 2$ durumundan $n = 1$ durumuna geçişlerin sonucu olarak 121.6 nm dalgaboyunda **Lyman α çizgisi** oluşur.
- Bu çizgi kuazar tayflarında oldukça geniş ve güçlüdür.

Şekil 3.17. Radyo sessiz (mavi) ve radyo gürültülü (kırmızı) kuazarlar için ortalama tayfsal enerji dağılımı. Radyo dalgaboyları hariç iki eğri birbirine benzemektedir. Özellikle büyük mavi tümsek diyagramda belirgindir.

- Kuazarlar kırmızıöte ve diğer dalgaboylarında tayfsal fazlalık gösterirler.
- %10'u güçlü radyo kaynaklarıdır ve **radyo-gürültülü kuazarlar** olarak adlandırılırlar
- Güçlü radyo dalgaları göstermeyen kuazarlar ise **radyo-sessiz kuazarlar** olarak adlandırılır.
- Birçok kuazar günlerden aylara kadar olan zaman ölçeklerinde tayf boyunca değişkenlik gösterir.

Şekil 3.18. En yakın kuazar 3C273'ün görüntüleri. (a) Optik V bandındaki görüntü yıldız benzeri çekirdekle birleşen ve madde fırlatan sönük jeti göstermektedir. Paneller jeti daha detaylı göstermektedir. (b) optik, (c) radyo ve (d) X-ışın dalgaboylarındaki görüntülerdir. Görüntülerdeki farklı renkler farklı şiddet seviyelerini temsil etmektedir.

- Radyo haritalamaları birçok radyo gürültülü kuazarın uzaya madde atan belirgin jetleri olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.19. Kuazarlar barındıran galaksilerin optik dalgaboyu gözlemleri. Kuazarlar, normal ve etkileşen galaksilerde oluşuyor gibi gözükmemektedir. Ana galaksi (a) normal bir spiral galaksi (b) normal bir eliptik galaksi (c)'den (f)'ye etkileşen ya da birleşen galaksilerdir.

- Kuazarları barındıran galaksilerden çoğu normal eliptik ya da spiral galaksilerken, birçoğu ise etkileşen veya birleşen sistemlerden oluşmaktadır.
- Ayrıca, radyo gürültülü kuazarlar eliptik ve etkileşen galaksilerde bulunurken radyo sessiz kuazarlar ise hem eliptik hem de spiral galaksilerde bulunma eğilimindedirler.

Radyo Galaksiler

Şekil 3.20. (a) Cygnus A radyo galaksisi kompakt bir çekirdeğin her iki yanında bulunan iki parlak loptan oluşmaktadır. Sağdaki lop çekirdeğe dar bir jet ile bağlıdır. Beyaz kutucuk (b) Cygnus A'yı barındıran galaksinin boyutudur. Biçimsel olarak tuhafliklar gösteren dev bir eliptik galaksi olduğuna inanılmaktadır. Galaksinin uzaklığı 240 Mpc'tir. Görüntü, mavi görsel ve yakın kırmızıöte görüntüleri birleştirilerek oluşturulmuştur.

- Jetler, radyo dalgaboylarında radyo galaksilerin ortak bir özelliğidir.
- Aktif galaktik çekirdekten loplara doğru fırlatılan materyalin oluşturduğu yolu takip etmektedirler.
- Cygnus A, tek ve dar bir jete sahip olan oldukça güçlü bir radyo galaksi örneğidir.
- Birçok radyo galakside ikinci jet ya yoktur ya da sönüktür.
- Sönük çekirdek ve parlak keskin hatlara sahip loplara, jetlerin çekirdekten maddeyi alarak galaksiler arası ortama sürüklüyormuş izlenimi vermektedir.

Şekil 3.21. M84 radyo galaksisi. Radyo salması kırmızıyla, galaksinin optik görüntüsü ise mavi ile gösterilmektedir. Bu galaksinin uzaklığı 18 Mpc'tir. Kutucuk, parlak çekirdeğin ve jetlerin iç bölgelerini göstermektedir.

- Zayıf radyo galaksilerin jetleri daha fazla yayılmaktadır ve genellikle çiftler halindedir.
- Bu galaksiler parlak çekirdeğe sahiptirler.
- Ancak loplar sönüktür ve keskin hatlara sahip değildirler.

Şekil 3.22. Radyo galaksi 3C445'in çekirdeğinin optik tayfı.

- Radyo galaksi çekirdeğinin optik tayfı diğer aktif galaktik çekirdek tayflarına benzer.
- Çizgi genişliğine göre ikiye ayrılırlar
- Geniş-çizgili radyo galaksiler – geniş salma çizgileri
- Dar-çizgili radyo galaksiler – dar salma çizgileri

- Her radyo galaksi nokta benzeri bir radyo çekirdeğe sahiptir
- Bu çekirdek ana galaksinin çekirdeğiyle çakışmaktadır.
- Çekirdek diğer aktif galaksi çekirdeklerinin birçok özelliğini göstermektedir.
- Bu özellikler, emisyon çizgileri, normal bir galaksininkinden çok daha geniş bir genişband tayfı ve tayftaki değişkenlik olarak sıralanabilir.

Şekil 3.23. Centaurus A radyo galaksisi. (a) Radyo haritası gökyüzünde 9 dereceden fazla bir alana yayılan lopları göstermektedir. (b) Görsel dalgaboylarında alınan görüntü ana galaksinin bir toz şeridiyle ikiye bölünmüş eliptik bir galaksi olduğunu göstermektedir. İç kısımdaki radyo lopları bu görüntünün üzerine bindirilmiştir. (c) X-ışın görüntüsü galaksinin iç kısımlarındaki jet ve nokta benzeri çekirdeği göstermektedir.

Soru: Centaurus A bir eliptik galaksi ise, toz nereden gelmiştir?

Şekil 3.24. Dev eliptik galaksi M87'nin (a) optik ve (b) radyo görüntüleri aktif çekirdekten uzanan tek taraflı bir jetin varlığını göstermektedir.

- Birçok radyo galaksi eliptik gibi görünmektedir.
- Galaksideki tekli jet kuazarların jet yapısını anımsatmaktadır.

Blazarlar

Şekil 3.25. BL Lac cisimlerinin gözlemleri. (sol) eliptik bir ana galaksi olan 0548-322, (orta) normal bir eliptik galaksi olan 1534+014, (sağ) çözümlenmemiş 0820+255 galaksisi.

Merkezi Motor

Aktif Galaktik Çekirdeklerin Boyutu

- Yerden 0.05'' çözünürlük elde edilebiliyor,

Açısal Çap yardımı ile;

$1^\circ = 3600''$ ve 1 radyan 57.3°

$0.05'' = 0.05'' / (57.3 \text{ rad} \times 3600'') = 2.4 \times 10^{-7} \text{ rad}$

En yakın AGN NGC 4395'in d uzaklığı 4.3 Mpc ise;

$$l = d \times \theta$$

$$(4.3 \times 10^{-6}) \times (2.4 \times 10^{-7}) \text{ pc} = 1.0 \text{ pc}$$

Yani, en yakın AGN'nin çapı için üst sınır olarak 1 pc koyulabilir..

Bu üst limit daha uzak AGN'ler için daha büyüktür.

Galaksimizin 30 kpc uzunluğa sahip olduğu ve Güneş'e en yakın yıldızın 1 pc'ten biraz daha uzakta olduğu düşünülürse **AGN'ler oldukça küçük yapılardır** denilebilir.

Şekil 3.28. Küresel bir abajurun görünen en uzak noktasından gelen ışık, en yakın noktasından gelen ışığa göre gözlemciye R/c kadar daha geç bir zamanda ulaşacaktır. R/c zamanından daha kısa zaman ölçeklerinde meydana gelen titreşimler gözlenmeyecektir.

Işınım değişkenlikleri yardımıyla;

Bu değişimin zaman ölçeği 10^{-4} saniye civarındadır.

$R = \Delta t \times c$ olması gerekirken

$R \approx \Delta t \times c$ kabul edilmelidir.

Dolayısıyla bir AGN için; $\Delta t = 10^{-4}$ saniye ise $R = 3 \times 10^{12} \text{ m}$
 $= 10^{-4} \text{ pc}$

Daha önce hesaplanan AGN büyüklüğünden 10000 kat daha küçük bir değerdir.

Büyüklüklerinin hesaplanmasıyla ilgili AGN'nin uzaklığına bağlı olmadan yalnızca ışık değişimi kullanılan bu yöntem en güçlü kısıtlamadır.

Şekil 3.27. Seyfert galaksisi olan MCG-6-30-15'in X-ray değişimine bir örnek. Birkaç bin saniyelik değişimler aktif galaktik çekirdeklerin bir özelliğidir.

Aktif Galaktik Çekirdeklerin Işınım Güçleri

- Galaksimizin ışınım gücü $2 \times 10^{10} L_{\odot}$ $L_{\odot} = 3.86 \times 10^{33} \text{ erg/s}$

Seyfertler – Nokta benzeri AGN optik dalgaboyunda, temel olarak yine optik dalgaboyunda ışınım yapan galaksinin geri kalanı kadar parlaktır..

--AGN ultraviyole ve kırmızıötedede optik bölgeye göre 3 kat fazla ışınım yapmaktadır.

-- Yani tipik bir seyfert için AGN galaksinin geri kalanına göre 4 kat fazla ışınım gücüne sahiptir.

-- $L = 10^{43} - 10^{45} \text{ erg/s}$

Kuazarlar – Işınım gücünde AGN'nin emisyonu baskındır.

-- AGN barındıran galaksi normal bir galaksi kadar parlaktır

-- Dolayısıyla kuazarın AGN'si normal galaksiden çok daha parlaktır.

-- Seyfertlerin AGN'lerinden daha parlaktır.

-- $L = 10^{45} - 10^{47} \text{ erg/s}$

Radyo Galaksiler – AGN optik bölgede seyfertler ya da kuazarlar kadar enerji yaymaz.

-- Loplardaki enerji normal bir galaksinin ışınım gücünü aşmaktadır.

-- $L = 10^{32} \text{ erg/s.Hz}$

Blazarlar – Blazarların AGN'si kuazarlardan daha fazla ışınım gücüne sahiptir.

-- $L = 10^{48} - 10^{49} \text{ erg/s}$

Süper Kütleli Karadelik ve Yığılma Diski

Şekil 3.29. Bir karadeliğe doğru düşen belirli gaz bulutlarının şematik gösterimi. C ve D bulutları çarpışmaktadır. Bu durum bulutların karadelik etrafında bir yörüngede sıkışmalarına neden olur.

- Bir karadeliğin yakınına gelen maddeye ne olur?

Şekil 3.30. Dönen bir yığılma diski. Beyaz çizgi bir parçacığın spiral olarak içe düşüşünü göstermektedir.