

# **Aktif Galaksi Çekirdekleri (AGN'ler)**

Aktif galaksi çekirdekleri (AGN):

AGN madde birikimi; enerjinin kaynağı;  
radyo galaksiler ve jetler

# Giriş

- Görünüşleri yıldız gibidir
- Isısal olmayan tayfa sahiptir
- Büyük kırmızıya kaymaya sahiptir
  
- Seyfert'ler: genellikle spiral galaksilerde bulunur
- BL Lac objeleri : eliptiklerde bulunur
- Kuazar'lar : içinde buldukları galaksinin çekirdeği olarak parlak

# Kuazar'lar – Evrendeki “canavar”lar



# AGN madde birikimi

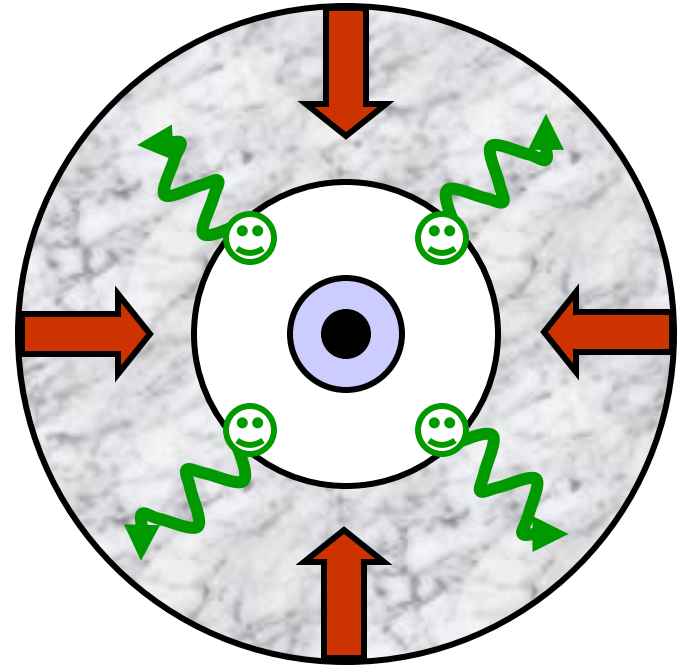
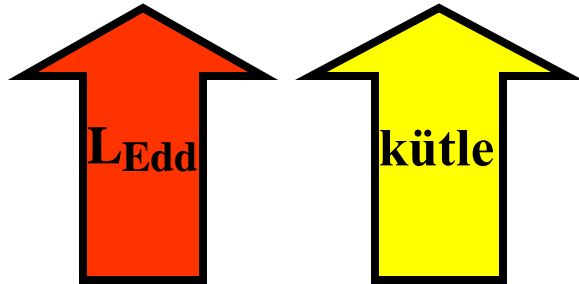
Çekirdeklerindeki süper kütleli bir karadelik üzerine akan maddeyle gözlenen enerjilerini sağladıkları düşünülmektedir. Gözlemsel özellikleri:



# Kuazar kütlelerinin bulunması

## Eddington Limiti

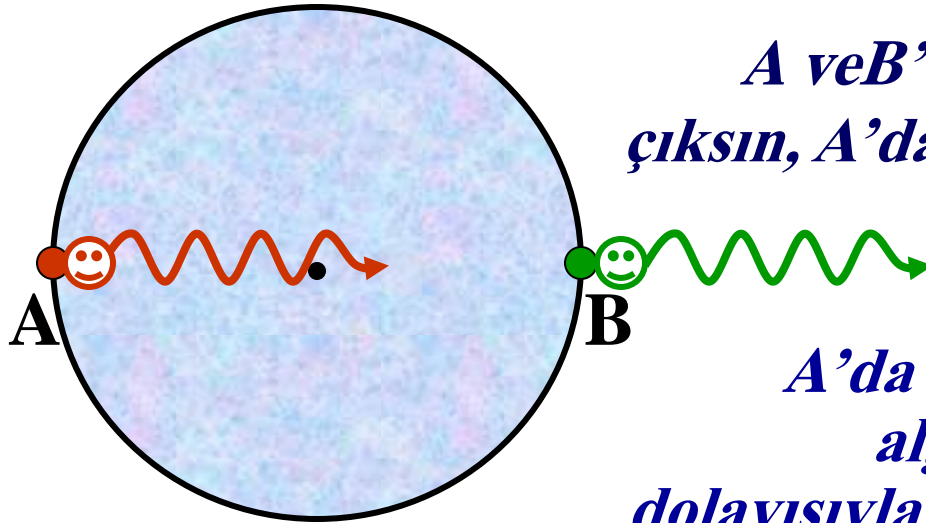
İçeri doğru olan k.ç. kuvveti ile gazın dışarı doğru olan ışınım basıncının dengelendiği yerdir.



*Işınımın Eddington limitinde olduğu varsayımı altında, ölçülen kuazar luminozitesi, minimum kütleli verir.*

# Kuazar'daki BH'in ölçülmesi

## Işığın seyahat zamanı etkisi



$$d = c \times t$$

$c = \text{ışık hızı}$

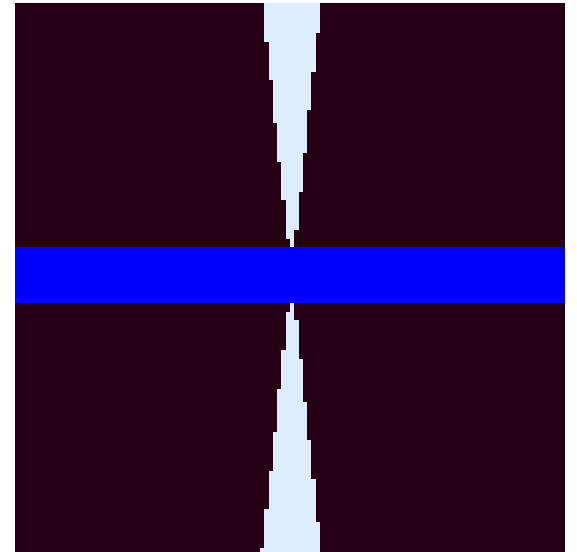
$d = \text{çap}$

*A ve B'deki fotonlar aynı anda yola çıksın, A'dan çıkan foton gözlemciye  $t$  ( $= d / c$ ) süre sonra varır.*

*A'da meydana gelen bir değişimin algılanması  $\delta t$  farkını doğurur, dolayısıyla gözlemci  $t + \delta t$  sonra değişimi algılar. Bu sonuç  $\text{çap}(d)$  için maksimum bir değer verir.*

# Birikim diski ve kara delik

- İç kısımlardaki gazın taşıdığı açısal momentumunu aktarabilmek için bir disk oluşturduğu düşünülür.
- Disk Güneş Sistemi boyutlarındadır.
- Geometrik olarak ince, optik olarak kalın disk kara cisim gibi ışınım yapar.
- merkeze doğru artan sıcaklık bu bölgelerin X-ışın yaymasına neden olurken, daha soğuk dış kenarlardan optik / IR ışınım alınır.





# Birikimin oranı

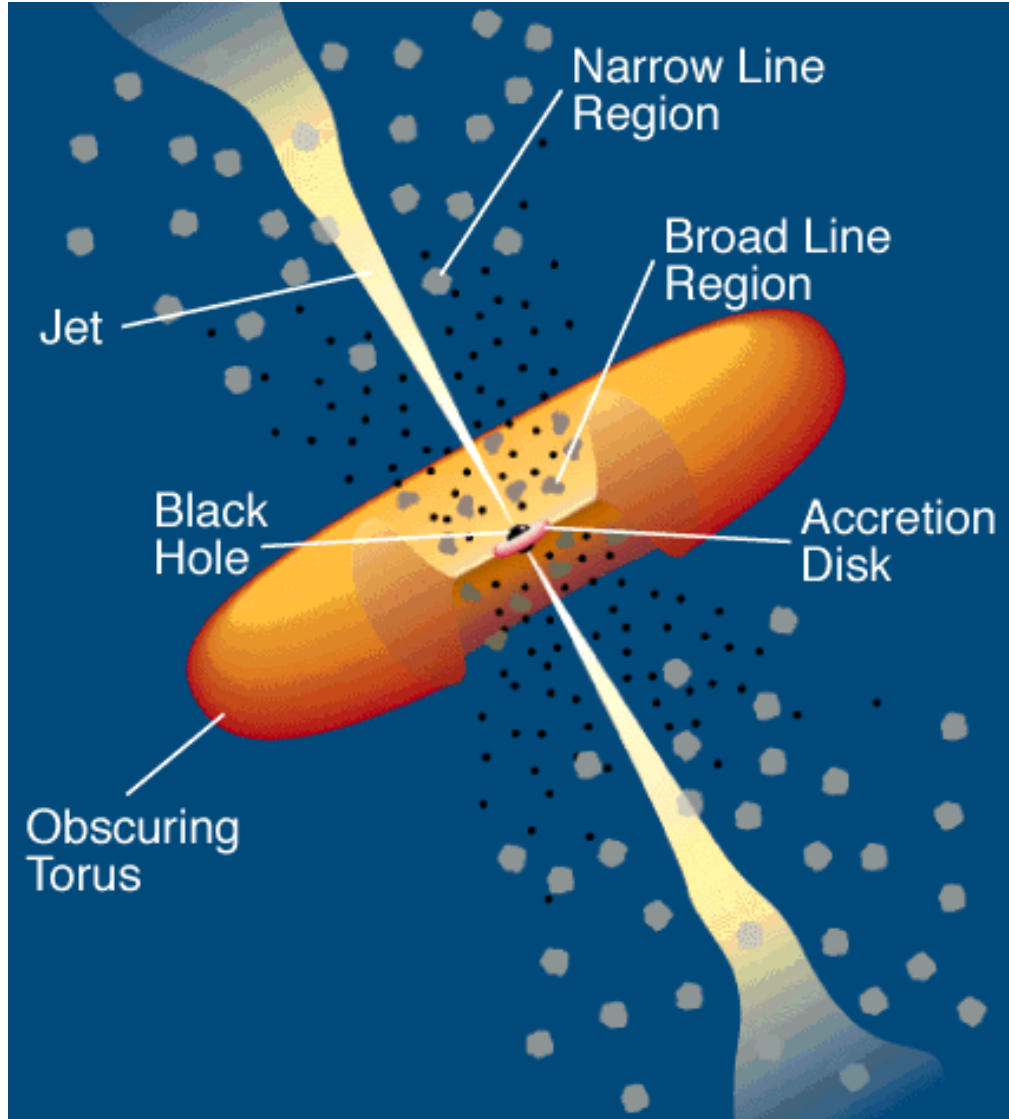
Birikim oranının hesaplanması:

$$L = 10^{40} \text{ J / s}$$

$$\dot{M} = \frac{L}{\eta c^2} = \frac{10^{40}}{0.1 \times (3 \times 10^8)^2}$$

$$= 10^{24} \text{ kg / s} \approx 3 \times 10^{31} \text{ kg / y} \approx 10 M_{\text{Güneş}} / \text{y}$$

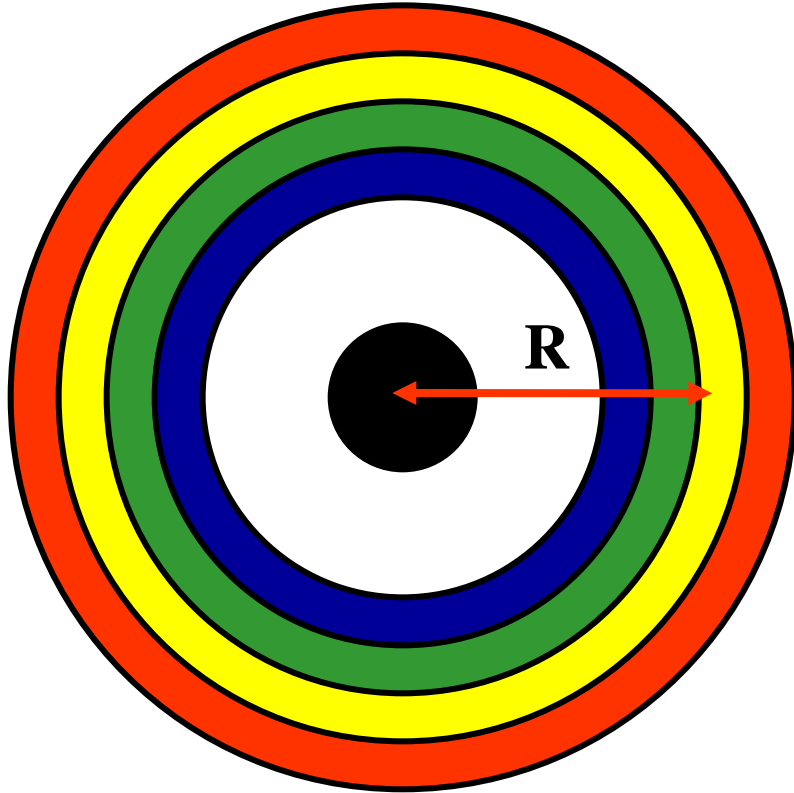
# Aktif galaksi çekirdeği (AGN)



**AGN için bir model**

# Birikim diskinin yapısı

Birikim diski (AD) karacisim ışınlımları yapan iç içe geçmiş halkalar olarak düşünülebilir



$$\begin{aligned} \text{Disk yayılma oranı, } D(R) : \\ = \frac{3GM\dot{M}}{8\pi R^3} \left[ 1 - \left( \frac{R_*}{R} \right)^{0.5} \right] \end{aligned}$$

# Disk sıcaklığı

Yarıçapın fonksiyonu olarak diskin sıcaklığı  $T(R)$ :

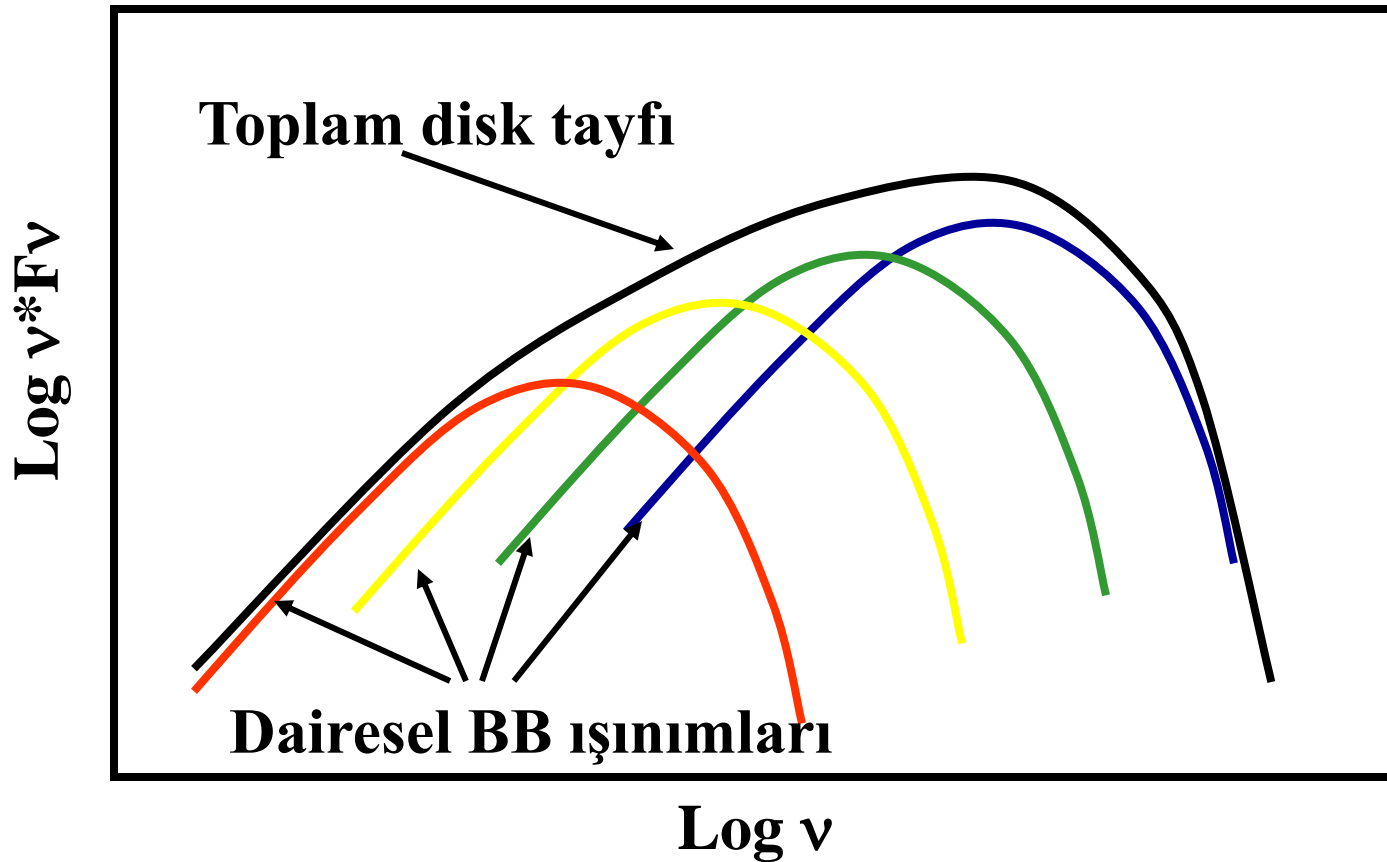
$$T(R) = \left\{ \frac{3GM\dot{M}}{8\pi R^3 \sigma} \left[ 1 - \left( \frac{R_*}{R} \right)^{0.5} \right] \right\}^{1/4}$$

eğer  $T_* = \left( \frac{3GM\dot{M}}{8\pi R_*^3 \sigma} \right)^{1/4}$

$R \gg R_*$  için  $T = T_* \left( R / R_* \right)^{-3/4}$

# Disk tayfi

Frekansa bağlı ışınım akısı;

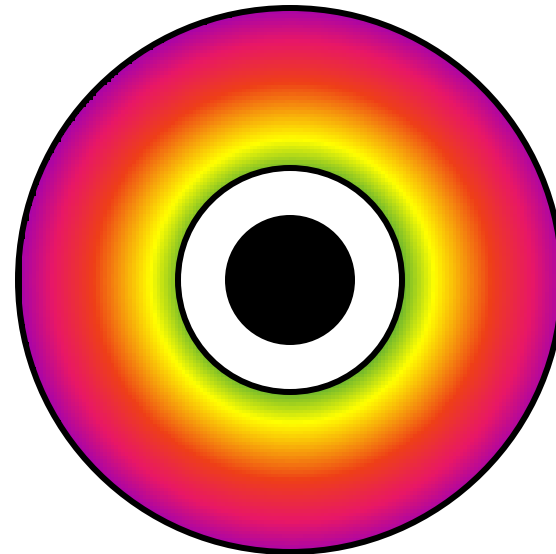
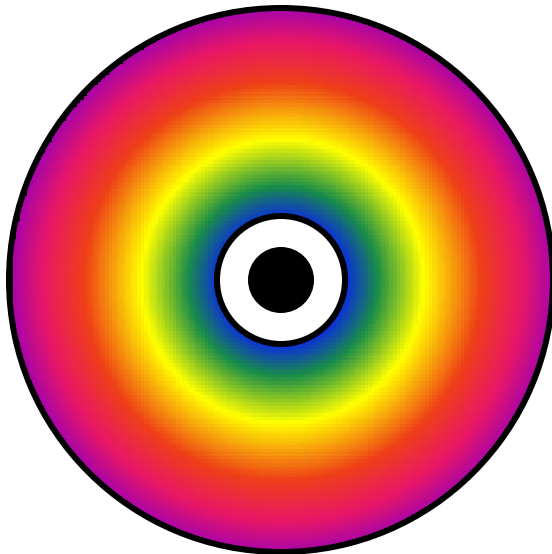


# Kara delik ve birikim diski

Küresel simetrik, dönmeyen bir BH için, en içteki kararlı  $3r_g$ 'de oluşur; ya da:

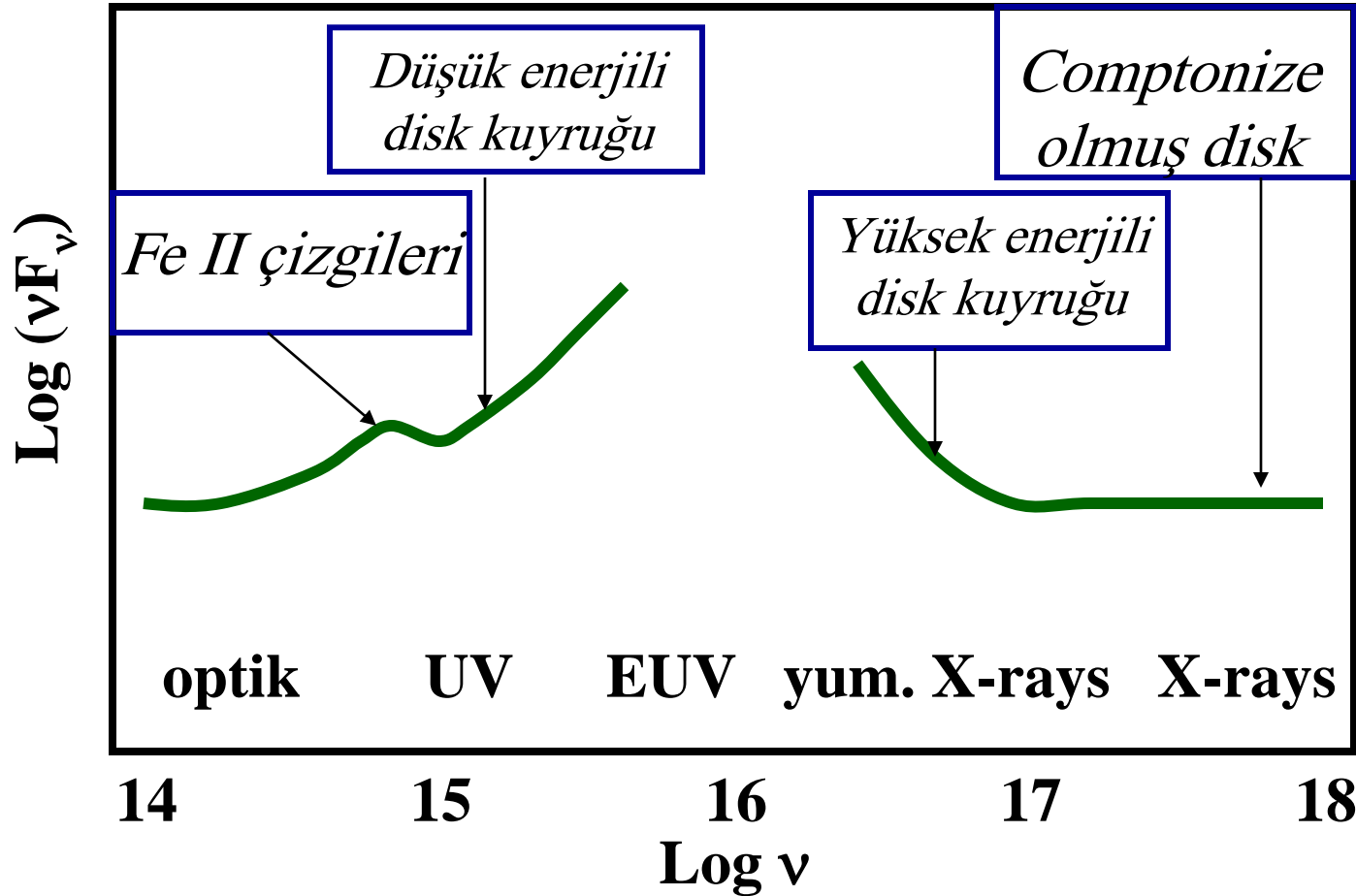
$$r_{\min} = \frac{6GM}{c^2}$$

$$R \gg R_* \quad \text{ise} \quad T = T_* \left( R / R_* \right)^{-3/4}$$



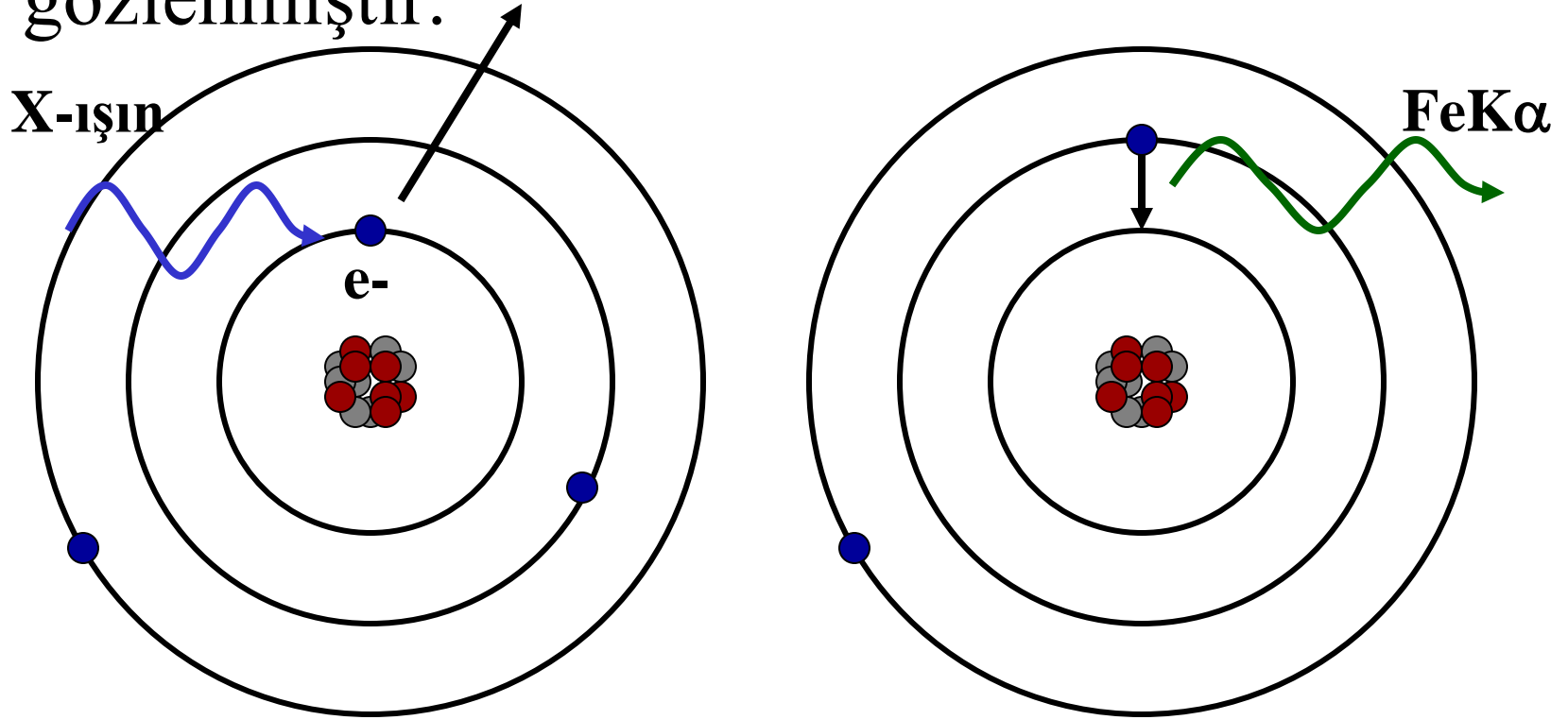
# AGN'nin yüksek enerji tayfı

Optikten X-ışınlarına kadar tayf:



# Fe K $\alpha$ çizgisi

En az 1 milyon K sıcaklıktaki gazdan yayılabilen bu floresans çizgisi Seyfert'lerin tayfında gözlenmiştir.



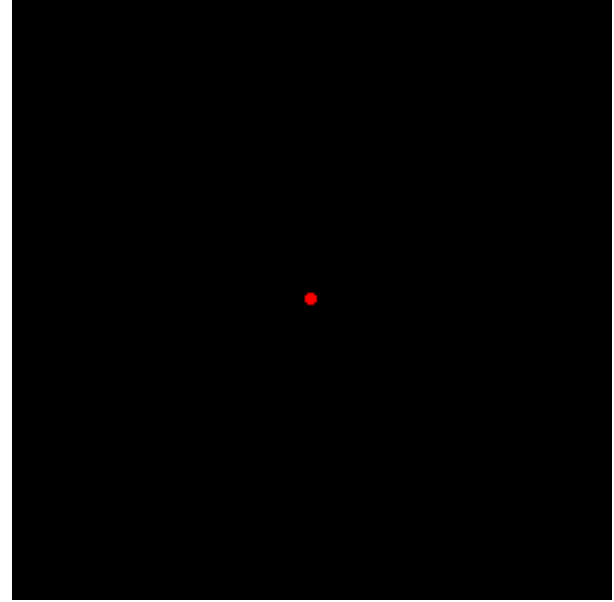


# Yakıt kaynağı

- Yıldızlararası gaz
- Üzerine düşen yıldızlar
- Gaz bulutlarının artığı
- Yüksek oranda madde akışı gereksinimi

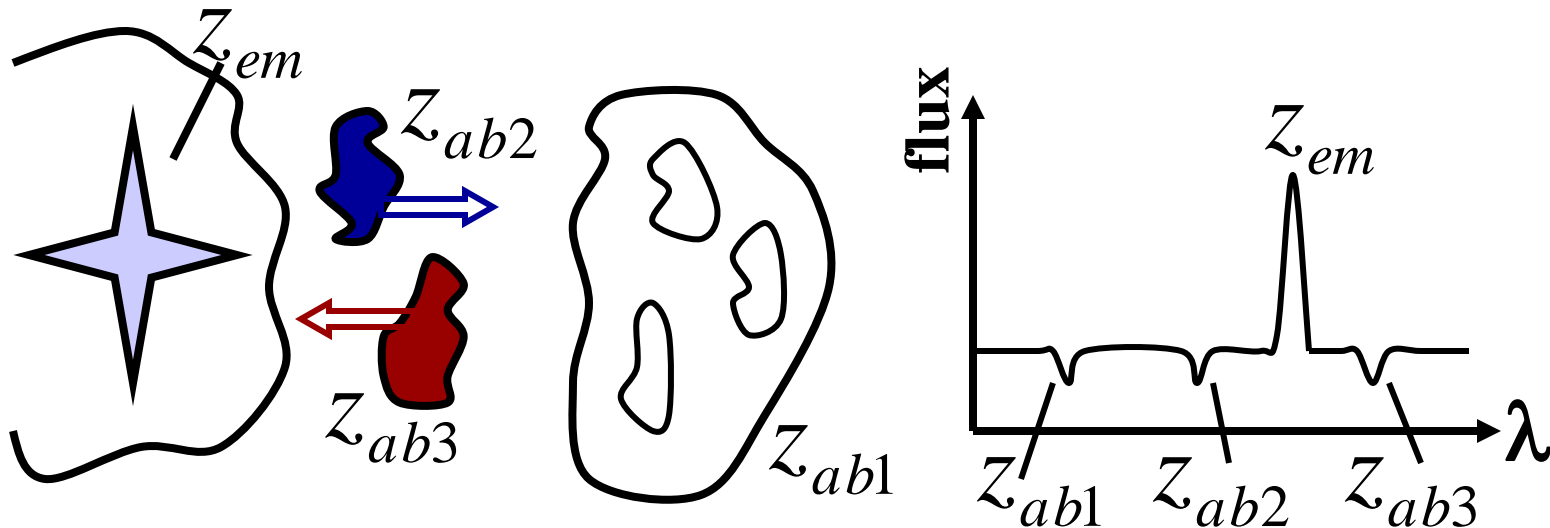
# Büyük patlama ve kırmızıya kayma

- Galaksilerin hemen tümü bizden uzaklaşır.
- Bu durum büyük patlama sonrasında genişlemeye başlayan evren ile uyumludur.



# Kozmolojik kırmızıya kayma

- Seyfert'lerden kuazarlara kadar luminozite fonksiyonunda süreklilik görülür
- $z_{abs} \neq z_{em}$  olan kuazarların optik tayfındaki soğurma çizgilerinin oluşumu:



# Alternatif Modeller

- Süperkütleli yıldız – Işınım gücü  $10^{39}$  J/s ya da daha az olan  $10^8$  Güneş kütleli bir yıldız Eddington limitini aşmaz. Ancak  $\sim 10$  milyon yıllık zaman ölçeğinde kararsızlık gösterir
- Bir ‘spinar’ olabilir

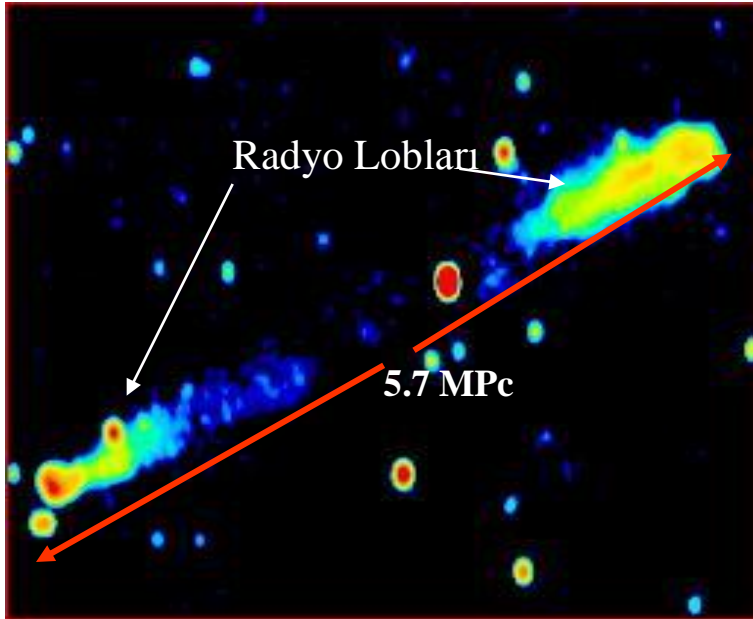
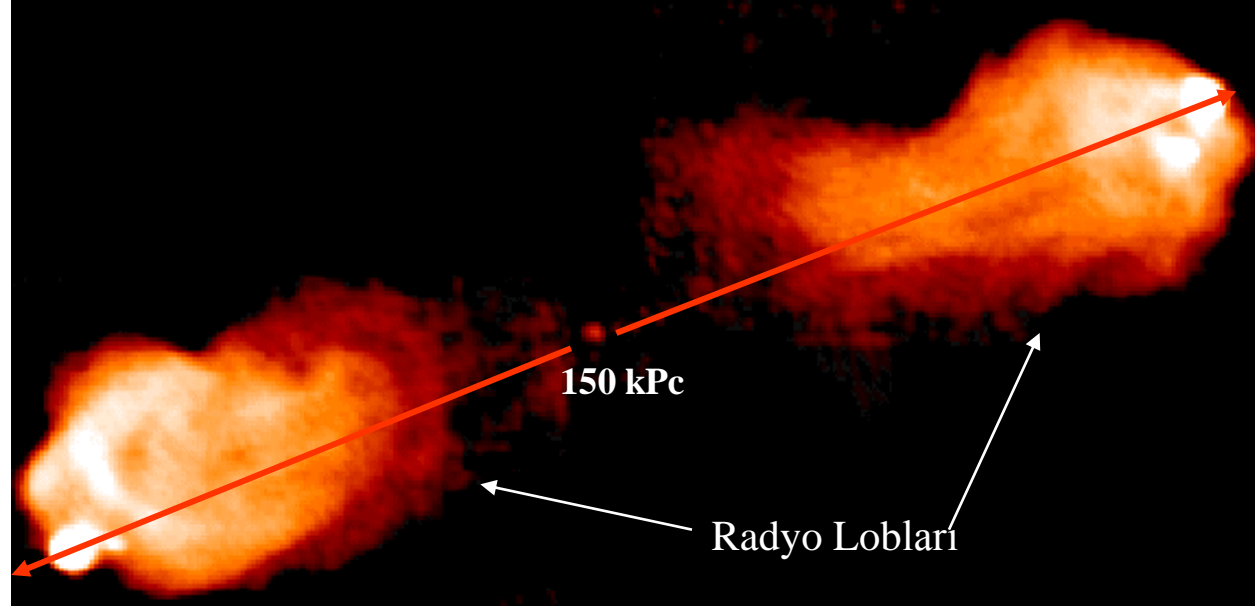
- Genel relativite fazladan kararsızlık öngörür, bunun sonucunda yıldız kara deliğe evrimleşir.

# Radyo kaynaklar

- Galaksilerin sadece % bir kaçı AGN içerir
- Düşük luminozitelere radyo galaksiler görülür
- Bunlar güçlü radyo ışınımı yaparlar – genellikle eliptiklerde bulunurlar.
- RG  $10^{38}$ - $10^{43}$  erg/s =  $10^{31}$ -  $10^{36}$  J/s
- Kuazarlar  $10^{43}$ -  $10^{47}$  erg/s =  $10^{36}$ - $10^{40}$  J/s

# Radyo Galaksiler ve Jetler

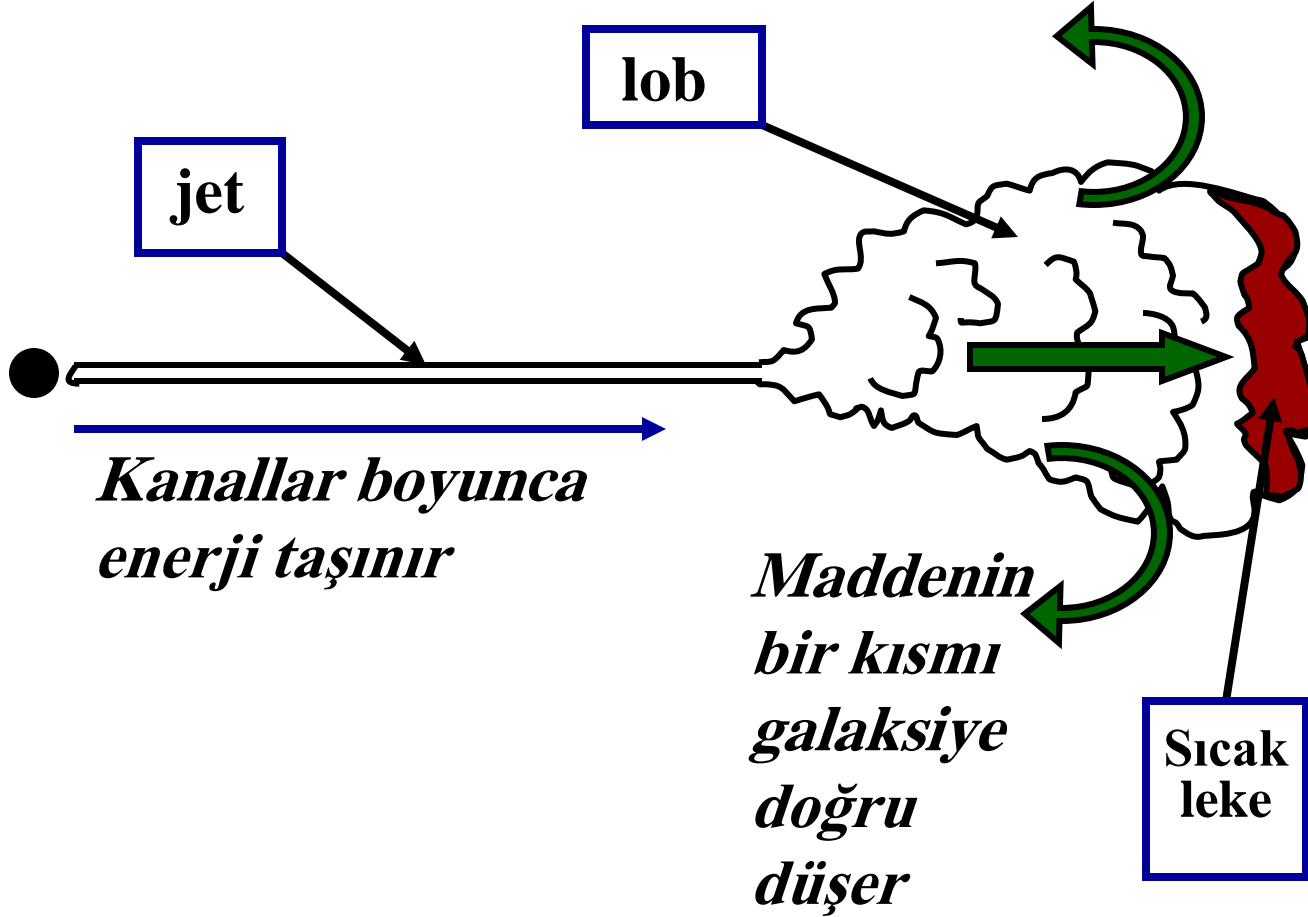
Cygnus-A →  
 $\nu = 1.4 \times 10^9$  Hz'deki  
VLA radyo görüntüsü  
( $d = 190$  MPc)



← 3C 236:  $\nu = 6.08 \times 10^8$  Hz'deki  
Westerbork teleskobu görüntüsü  
( $d = 490$  MPc)

Jetler, oldukça aktif merkezi galaksiden çıkar. Loblar relativistik elektronlarca doldurulur.

# Jetler: İyonize olmuş, odaklanmış gaz akımları





# Elektron yaşam süresi

Elektronların oluşturduğu sinkrotron için:

AGN radyo jetlerindeki ömürlerinin hesabı:

Eğer  $\nu_m = 10^8$  Hz (radyo)  $\sim 4.17 \times 10^{36} E^2 B$

$$E^2 B = 2.5 \times 10^{-29} \quad (\text{J}^2 \text{ Tesla})$$

$$\tau_{\text{sink}} = 5 \times 10^{-13} B^{-2} E^{-1} \text{ saniye}$$

$B = 10^{-3}$  Tesla için,  $\tau_{\text{sink}} \sim 3 \times 10^6$  s  $\sim 1$  ay

$B = 10^{-8}$  Tesla için,  $\tau_{\text{sink}} \sim 10^{14}$  s,  $\sim 3 \times 10^6$  yıl

# Jetlerde oluşan şok dalgaları

Jetlerle kıyaslandığında yaşam süreleri kısadır, fazladan ivmelenme gerektirir. Jetteki enerjinin çoğu kinetik enerji formundadır.

Jetlerdeki gaz akışı süpersoniktir; sıcak leke civarına gelen gaz aniden yavaşlar bu ise şok dalgası oluşturur. Burada enerji artık relativistik elektronlarda ve manyetik alandadır.

# Enerjinin eş-paylaşılması

Görelî enerji katkıları

Kaynaktaki enerji

parçacıklar

manyetik alan

- Elektronlara aktarılan enerjinin kuvvet yasası biçiminde olduğunu varsayalım:

$$N(E) = kE^{-\alpha}$$

Elektronlardaki toplam enerji yoğunluğu,

$$E_{toplam} = \int_0^{E_{max}} N(E) E dE = \frac{k}{2-\alpha} E_{max}^{2-\alpha}$$

$k$  ve  $E_{max}$ , B'nin fonksiyonu olmalıdır .

Gözlenen sinkrotron luminozitesi:

$$L = \int_0^{E_{\max}} N(E) P_{syn} dE$$

burada:  $P_{syn} = k' E^2 B^2$

böylece:

$$L = \int_0^{E_{\max}} k E^{-\alpha} k' E^2 B^2 dE = \frac{k k' B^2}{3 - \alpha} E_{\max}^{3 - \alpha}$$

ve:  $k = \frac{(3 - \alpha)L}{k' B^2 E_{\max}^{3 - \alpha}}$

Elektronlardaki toplam enerji:

$$E_{Tot} = \frac{(3 - \alpha)}{(2 - \alpha)} \frac{L}{k' B^2 E_{\max}}$$

# $E_{\max}$ 'in bulunması

$E_{\max}$ 'i  $v_{\max}$ 'dan bulabiliriz :

$$v_{\max} = sbt \times BE_{\max}^2$$

böylece:  $E_{\max} = k'' B^{-1/2} v_{\max}^{1/2}$

$$E_{top} = \frac{(3-\alpha)}{(2-\alpha)} \frac{L}{k' B^2 k'' B^{-1/2} v_{\max}^{1/2}} = aB^{-3/2}$$

Manyetik alandaki enerji yoğunluğu

$$\frac{B^2}{2\mu_0} = bB^2$$

Böylece kaynağın toplam enerji yoğunluğu:

$$T = aB^{-3/2} + bB^2$$

B'ye göre T'nin minimum olma şartı:

$$\frac{\partial T}{\partial B} = 0$$



böylece: 
$$\frac{\partial T}{\partial B} = -\frac{3}{2}aB^{-5/2} + 2bB = 0$$

$$b = \frac{3}{4}aB^{-7/2}$$

ve:

$$T = aB^{-3/2} + \frac{3}{4}aB^{-3/2}$$

**parçacık**

**manyetik alan**

Son olarak,

$$\frac{\text{Parçacıklardaki enerji yoğunluğu}}{\text{Manyetik alandaki enerji yoğunluğu}} = \frac{4}{3} \approx 1$$

Bu sonuç, minimum enerjinin manyetik alan ve relativistik parçacıklar arasında eşit dağıldığını gösterir.

# Radyo Kaynaklarda Eş-paylaşım

Cygnus A için  $\rightarrow L_{\text{radyo}} \sim 5 \cdot 10^{37} \text{ J/s}$

- Eğer  $d_{\text{lob}} \sim 75 \text{ kPc} = 2.3 \cdot 10^{21} \text{ m}$  and  $v_{\text{jet}} \sim 10^3 \text{ km/s}$  ise,  
 $t_{\text{life}} \sim 2.3 \cdot 10^{21} / 10^6 = 2.3 \cdot 10^{15} \text{ s} \sim 7 \cdot 10^7 \text{ years}$
- $R_{\text{lob}} \sim 35 \text{ kPc} = 10^{21} \text{ m}$  and böylece  $V_{\text{lob}} = \frac{4}{3} \pi R_{\text{lob}}^3$   
 $= 5 \cdot 10^{63} \text{ m}^3$
- Toplam enerji ihtiyacı  $\sim 5 \cdot 10^{37} \times 2.3 \cdot 10^{15} \sim 10^{53} \text{ J}$   
ve enerji yoğunluğu  $\sim 10^{53} / 10^{64} = 10^{-11} \text{ J/m}^3$
- Eş-paylaşım sonucu  $\rightarrow B^2 / 2\mu_0 \sim 10^{-11}$  veya  $B \sim 5 \cdot 10^{-9} \text{ Tesla}$

Gözlenen maksimum frekans  $10^{11}$  Hz.

$$\nu_m = 4.2 \times 10^{36} E^2 B$$

$$E^2 B = 2.5 \times 10^{-26}$$

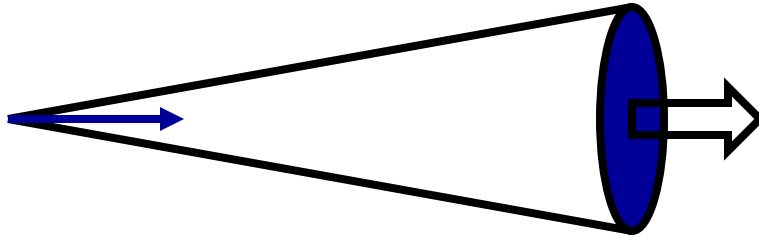
$$E^2 = 5 \times 10^{-18} J^2 \Rightarrow E = 10^{10} eV \Rightarrow \gamma \approx 10^5$$

$$\begin{aligned} \tau_{\text{sin}} &= 5 \times 10^{-13} B^{-2} E^{-1} \\ &= 10^{13} s = 3 \times 10^5 y \end{aligned}$$

*Bu sonuç lob'larda elektronun ivmelenmesini gerektirir.*

# Relativistik Hüzmenleme (Beaming)

Plazma tercihen hareket doğrultusunda ışınım yayar.



**Foton, ışınım konisi  
içinden yayılır ve  
Doppler artışına  
maruz kalır.**

Dolayısıyla gözlemci sadece kendisine doğru yönelmiş olan jeti görür.

# Süperkütleli kara delik (BH)

- BH birikim diski ile çevrelenmiştir
- Disk jetleri besler ve gravitasyonel enerji bırakarak bunlara enerji sağlar
- BH döner sonuçta jetler dönme eksenine paralel bir şekilde konumlanırlar, belki de manyetik eksen tarafından yönlendirilir.

# Geometrik olarak kalın disk

- BH + disk; birikim oranı  $>$  Eddington limiti
- Işınım basıncı nedeniyle disk maddeyi dışarı üfler
- İç kısımda jetlere güç sağlayan bir torus oluşur
- Beklenen optik / UV ışınımı çok fazladır