

## KARA DELİKLERİ “GÖZLEMELER”

### Giriş:

Kara delik sözünü ilk duyduğumda açıkçası çok korkutucu gelmişti. Aklıma ilk gelen, uzayda çevresindeki her şeyi yutarak gitgide büyüyen dev bir nesneydi. Bu kara delik o kadar büyüyecekti ki kaçınılmaz olarak bir gün Dünya’yı da yutacaktı. Şimdi biliyorum ki bu korkum çok yersiz. Her ne kadar evrende çevresindeki yıldızları yutan kara delikler mevcutsa da, bunların sayısı ve etki alanı çok sınırlı.

En basit tanımıyla kara delikler yüzeyinden ışığın bile kaçamadığı yerçekimi kuvvetine sahip nesnelere. Genelde tüm özelliklerini anlatmak için Einstein’ın genel görelilik kuramına ihtiyacımız olsa da, basit özelliklerini anlamak için liseden bildiğimiz Newton kanunları yeterli. Kara deliklerde madde o kadar küçük bir alana hapsediliyor ki, yüzeyinden kaçmak için gereken hız, ışık hızını (saniyede 300,000 km) geçiyor. Sonuç olarak ışık dahi kara delikten kaçamıyor, bükülerek yüzeye geri dönüyor. Öyleyse bir kara delik oluşturmak için gereken, başlangıçtaki kütleyi sıkıştırarak hacmini yeterince küçültmek. Aşağıdaki Tablo bize astronomideki tipik kütlelerin kara delik haline gelmesi için sıkıştırılması gereken büyüklükleri veriyor. Kaçış hızı ve kara delik büyüklüğü hakkında bilgi Prof. Halil Kırbıyık’ın makalesinde ayrıntıyla anlatılıyor.

Cisim	Kütle	Yarıçap	Kara delik yarıçapı**
Dünya	$6 \times 10^{24}$ kg *	6,400 km	9 mm
Güneş	$2 \times 10^{30}$ kg	700,000 km	3 km
Nötron yıldızı	$3-4 \times 10^{30}$ kg	10 – 15 km	4.5 – 6 km
Samanyolu merkezi	3 milyon güneş kütlesi	-	9 milyon km
M 87 Galaksi merkezi	3 milyar güneş kütlesi	-	9 milyar km

\* Bilimsel notasyon kullanılmıştır,  $10^{24} = 1,000,000,000,000,000,000,000,000$  (birden sonra 24 tane 0)

\*\*Kara deliğe dönüştürmek için verilen kütlelerin sıkıştırılması gereken yarıçap (Schwarzschild yarıçapı)

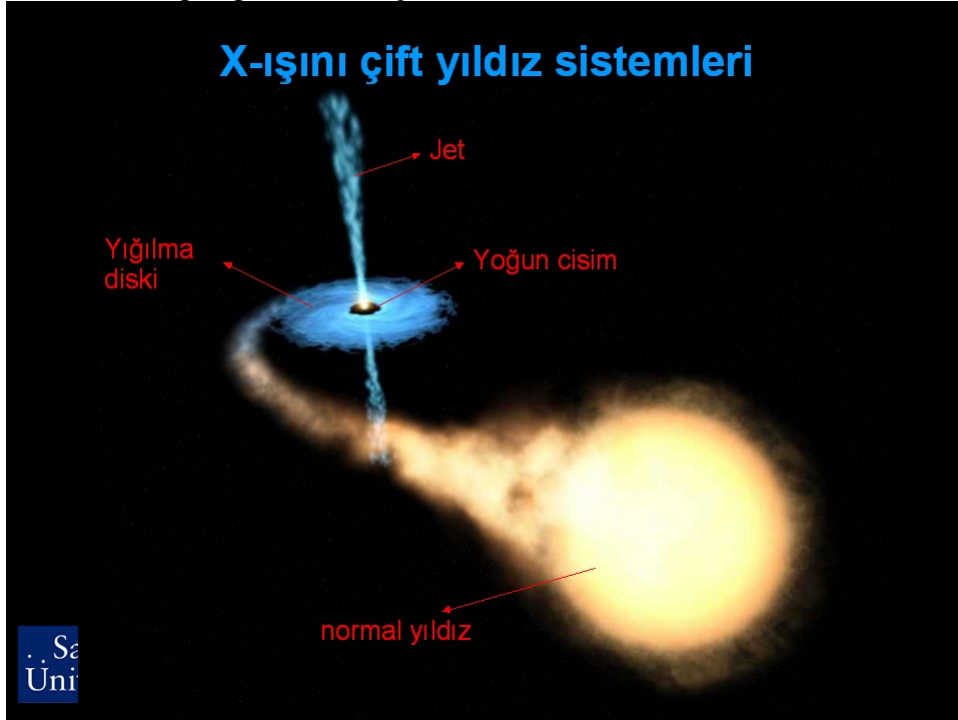
Burada bir önemli nokta kara deliklerin çekim alanı ile ilgili. Kara delikten yeterince uzakta (mesela bir kaç yüz Schwarzschild yarıçapı) maddenin tüm dinamiğini Newton yasaları kullanarak tarif etmek mümkün. Daha açık bir örnek vermek istersek, diyelim ki Güneş bir anda kara deliğe döndü. Dünya, diğer gezegenler, göktaşları, kuyruklu yıldızlar hiç istiflerini bozmadan yörüngelerinde dönmeye devam edecekler. Güneş de kara delik oldu diye gezegenleri yutacak değil. Kısacası kara delikten yeterince uzaktaki cisimler için önemli olan merkezdeki toplam kütle: toplam kütleyi oluşturan cismin bir kara delik ya da başka bir astronomik cisim olması fark etmez. Ama kara delik yakınlarına gelirsek iş değişir. Newton kanunları yetersiz kalmaya başlar, Einstein’ın genel görelilik kuramı ve bükülmüş uzay-zamanda hesaplar yapılmaya başlanır.

### **Evrendeki kara delik tipleri:**

Teorik olarak varlığı aşağı yukarı yüz senedir bilinen kara delikler hakikaten evrende var mı, yoksa sadece bir teorinin anlamsız uzantısından mı ibaret? Bu yazıda önce bu konuyu ele alacağım, evrende kara delikler var mı? Yıldızların evrimi bize bu konuda önemli ipuçları veriyor. Burada çok özet bilgi veriyorum, çünkü Prof. Halil Kırbıyık'ın yazısında yıldız evrimi ayrıntısıyla anlatılıyor.

### **Güneş kütleli kara delikler:**

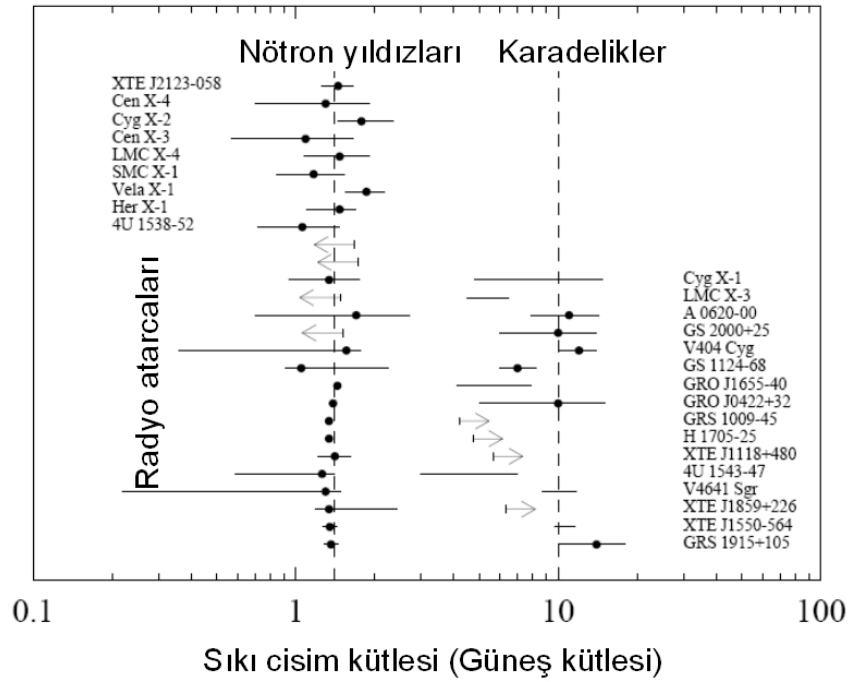
Yıldızlarda kütle çekim, hafif elementlerin daha ağır elementlere dönüştürüldüğü füzyon tepkimesi sonucu ortaya çıkan basınçla dengelenir. Yani füzyon sürdükçe yıldız kütle çekimine karşı koyar. Füzyon sonsuza kadar sürüp gitmez, yıldız daha hafif elementlerden demir çekirdeklerini ürettikten sonra durur, çünkü demirden daha ağır elementleri füzyonla üretmek enerji açığa çıkarmaz. O zaman yıldız çökmeye başlar. Bu çökme yıldızın ilk kütlesine bağlı olarak üç ayrı şekilde sonlanır. Düşük kütleli yıldızlarda (Güneş gibi) çöküş, elektronların birbirine çok yaklaştığında uyguladığı basınç tarafından durdurulur ve yıldız bir beyaz cüceye dönüşür. Çöken yıldız daha ağırsa önce elektronlar ve protonlar kaynaşarak nötronlar oluştururlar, daha sonra da nötronların basıncı çökmeyi durdurur. Oluşan yıldızda nötron yıldızı denir. Eğer çöken yıldız daha da ağırsa nötronların da basıncı yeterli olmayacağından çökme devam eder ve yıldızın yarıçapı Schwarzschild yarıçapının da altına inerek kara delik oluşumunu sağlar. Yıldız evriminin sonunda oluşan bu cisimlere (beyaz cüce, nötron yıldızı ve kara delik) küçüklükleri ve yoğunluklarının yüksekliği nedeniyle yoğun cisimler denir. Mesela bir nötron yıldızının çapı 10-15 km civarındadır ve bir çay kaşığına dolduracak kadar nötron yıldızı maddesinin ağırlığı tonlarla ölçülür.



Şekil 1. Yoğun cisim taşıyan çift yıldız sistemi. Madde normal yıldızdan yoğun cisme akarken bir yığılma diski oluşturuyor.

Dolayısıyla, en azından teorik olarak gökadamızda ve evrendeki diğer gökadalarda 10 Güneş kütlesi civarında ağırlığı olan kara delikler olmalıdır. Ama tanımları gereği kara delikler ışınım yapmazlar. (Astronomik olarak gözlenmesi mümkün olmayan Hawking ışınması hariç, ayrıntılar için Dr. Bayram Tekin'in yazısına bakınız). Onları ancak başka bir yıldızın yakınındaysa, yani bir çift yıldız sisteminde ise bulabiliriz. Bu konuda şanslıyız çünkü Gökadamız'daki yıldızların çoğu çift yıldız sistemleri içinde.

Yıldızlardan bir tanesi yoğun cisim olan çift yıldız sistemlerinde, bazı koşullarda madde normal yıldızdan yoğun cisme doğru akmaya başlar. Aynı zamanda iki yıldız da birbiri etrafında dönmektedir. Bunun sonucunda madde yoğun cisme akarken çevresinde bir disk oluşturur. Teorik ve bilgisayarla yapılan çalışmalar bu diskin nispeten ince olduğunu gösteriyor. Bu da disk yoğunluğunun yüksek olması demek. Diskin yoğun cisme yakın iç kısımları müthiş yerçekimi kuvveti altında gitgide daha hızlı dönerken aynı zamanda ısınır, sıcaklık milyar derece civarına çıkar. Milyar derece sıcaklığı olan madde x ışınlarında (röntgen filmlerinin çekildiği enerjideki ışınlar) parlar. Zaten yoğun cisme sahip çift yıldız sistemlerini gökyüzünü x ışını algılayıcılarıyla taradığımızda buluyoruz. Şekil 1 bize yoğun cisim ve etrafındaki disk hakkında bir fikir veriyor.



Şekil 2. Kütlesi ölçülmüş yoğun cisimlerden bazıları. Nötron yıldızları 1.4 Güneş kütlesi civarında yoğunlaşıyor. 3 Güneş kütlesinden daha ağır olanlar ise kara delik. E. Kalemci doktora tezinden uyarlanmıştır.

X ışınlarını kullanarak yoğun cisimleri tespit edebiliyoruz, peki bunların hangileri kara delik? Bunu belirlemenin en garanti yolu yoğun cismin kütlesini ölçmek, çünkü beyaz cüceler ve nötron yıldızlarının üç güneş kütlesinden büyük olması teorik olarak imkansız. X ışınlarında parlayan ve üç güneş kütlesinden daha ağır yoğun cisimler kara delik olmalı. Yoğun cisimlerin kütlelerini bazen yörünge periyotlarını ve Kepler kanunları kullanarak bulmak mümkün. Şekil 2’de kütlesi ölçülmüş bazı kara delik ve nötron yıldızlarının dağılımı görülüyor. Galaksimizde bunlardan 18 tane var (McClintock & Remillard, ‘Compact Stellar X-ray Sources’, 4. Bölüm)

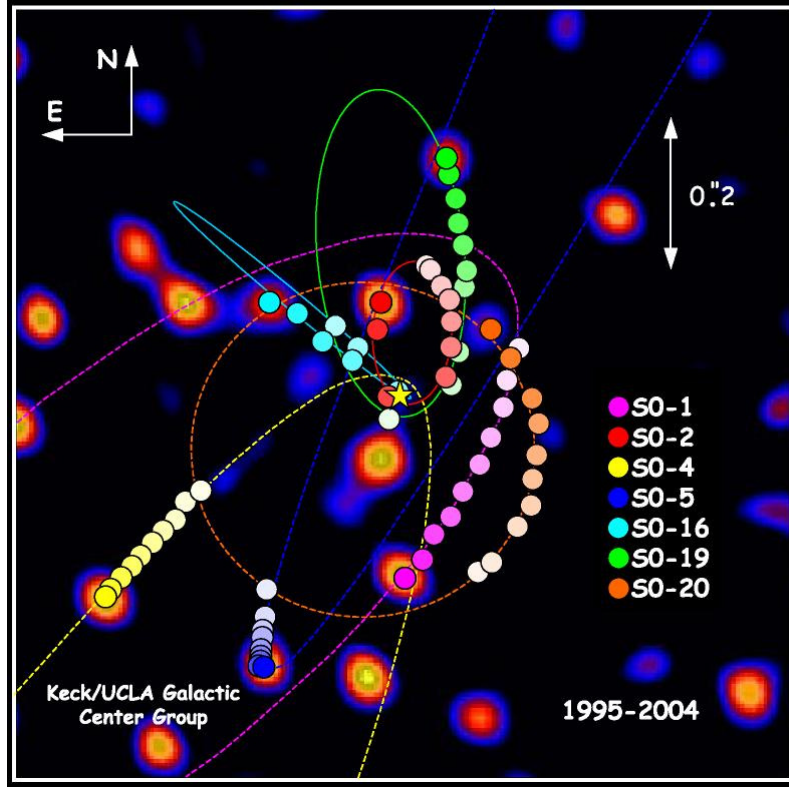
Bazı yoğun cisimlerin kütlesini ölçmek mümkün değil. Bunları ancak dolaylı yollarla sınıflandırabiliriz. Her şeyden önce hangi cisimlerin kara delik olamayacağını bulabiliriz. Hem nötron yıldızlarının hem beyaz cüceler yüzeylerinden gelen tipik bir ışınım vardır. Kara deliklerin yüzeyleri olmadığı için onlarda bu ışınım gözükmez. Ayrıca nötron yıldızlarının dönmesinden dolayı oluşan periyodik sinyal ya da sadece nötron yıldızlarına özgü patlamalar da hangi yoğun cisimlerin kara delik olamayacağı konusunda bize bilgi verir. Sonuç olarak, kütlesi bilinen kara deliklerin genel özelliklerine bakarak, aynı özellikleri gösteren ve nötron yıldızı ya da beyaz cüce olmadığı kesinleşen tüm yoğun cisimlere kara delik adayı denir. Bunlardan da bilinen 22 tane var (2003 yılına kadar McClintock & Remillard makalesinde verilen sayı, tam sayısını bilememekle beraber şu anda 25 civarı olabilir).

### **Dev kara delikler:**

Evrendeki başka çeşit kara delikler de var. Bunlar milyonlarca ya da milyarlarca güneş kütlesine sahip dev kara delikler. Samanyolu’nun merkezinde de bir tane var. Gökadamız’ın merkezine kızılötesi teleskoplarla bakıp, oradaki yıldızların hareketini gözlemek mümkün. Bu yıldızlarının yörüngeleri incelendiğinde hepsinin ortak bir nokta etrafında döndüğü görülüyor, yapılan hesaplarla bu noktada 3 milyon Güneş kütlesi olması gerekiyor (Şekil 3). Ama bu noktadan ışık gelmiyor! Bu kadar büyük kütleli teleskoplarımızın ayırıştırabileceğinden daha küçük bir alana sığıp ışımama yapmamasının tek açıklaması onun kara delik olması!

Samanyolu’nun merkezindeki benzer kara delikler aslında tüm gökadalının merkezlerinde var! Bu dev kara deliklerin gökadalının evriminde önemli bir yeri olduğu düşünülüyor. Üstelik bunlardan bazıları çok kuvvetli ışımaya da yapıyor, daha doğrusu çift yıldız sistemleri gibi çevrelerindeki madde kara deliğe akarken ışıyor. İşte bunlar yamyam kara delikler çünkü bir yıldız ona yaklaşırsa önce yüksek çekim kuvveti altında parçalanıyor, sonra da diskin bir parçası olarak afiyetle kara deliğin merkezine yöneliyor. Dolayısıyla bu kara delikler etraftaki gaz dışında, yıldızların artıklarıyla da besleniyorlar ve büyüyorlar. Ama korkacak bir şey yok, bu kara deliklerden çıkan enerjiye bakılarak her on senede bir adet Güneş kütleli yıldız kadar madde yuttukları görülüyor (Chaisson & McMillan, ‘Astronomy Today’). Yani on senede zaten milyarlarca Güneş kütlesine bir güneş kütlesi daha ekleniyor, hızlı bir büyüme denemez. Hatta çoğunlukla çevrelerinde zamanla gaz ve yıldız kalmadığı için bu kara deliklerin çevrelerinden gelen ışık da kesiliyor. Mesela Samanyolu’nun merkezindeki kara delik şu

anda parlak değil, ama daha 300 yıl önce şimdikinden çok daha parlak olduğuna dair bulgular var (Revnivtsev ve ark. Astronomy and Astrophysics, 2004, 425, 49). Sonuç olarak dev kara delikler etraflarında madde biriktiği zaman aktif hale geliyorlar (ki bunlara aktif gökada çekirdekleri deniyor), madde bitince de sönüyorlar.



Şekil 3. Kaliforniya Üniversitesi, Los Angeles (UCLA) Grubu tarafından 10 metre çaplı Keck Teleskobu ile Samanyolu merkezindeki yıldızların yörüngeleri. Tüm yıldızlar sarı yıldız ile gösterilen kara deliğin etrafında dönüyor.

Bu kara deliklere en etkili madde kaynağı da gökada birleşmeleri. Gökadalar da genelde gruplar halinde bulunuyorlar ve kütle çekiminin etkisiyle birbirleriyle çarpışabiliyorlar. Bu çarpışmalar yıldızları pek etkilemiyor çünkü yıldızlararası mesafeler çok büyük. Fakat gökada içindeki gaz ve toz bulutları çarpışmalardan daha çok etkileniyor. Merkezlerdeki dev kara delikler de çarpışma sırasında yakınına gelen gazı çekerek bir disk oluşturuyor ve aktif hale geliyor. Aktif nükleer çekirdeklere baktığımızda bunların hemen hemen hepsinin yakın zamanda bir gökada çarpışmasına maruz kaldığı gözleniyor. Bu arada Samanyolu'nun da komşusu Andromeda ile 3 milyar yıl içinde çarpışacağını belirtelim. Bu çarpışma sırasında yukarıda belirttiğim sebepten bir yıldızın gelip bizim Güneş'imize çarpma olasılığı çok küçük, ama Gökada merkezindeki kara deliği aktif hale getirebilir. Şekil 4'de çarpışan iki gökadanın Hubble tarafından alınmış görüntüsü var.



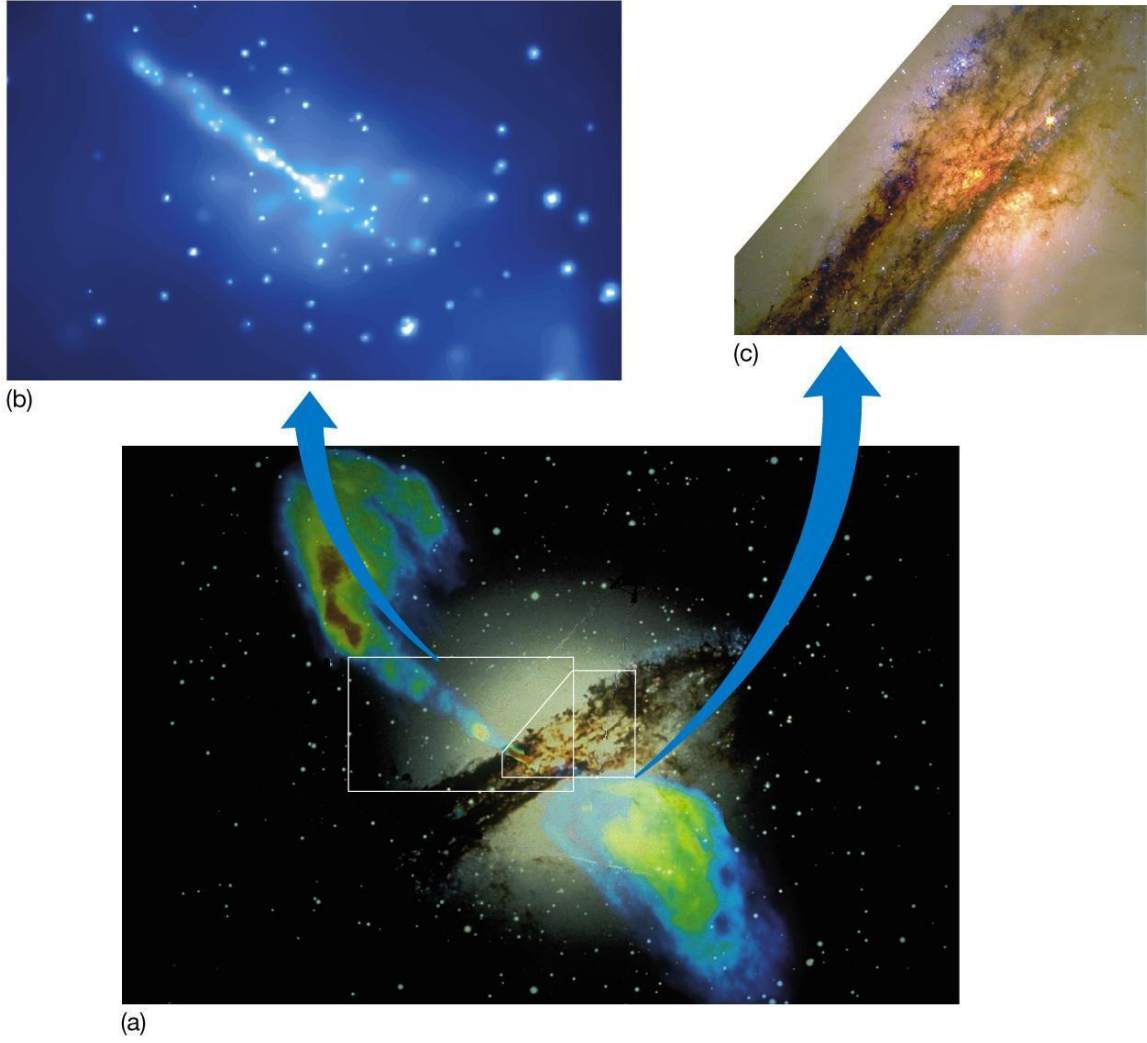
Şekil 4. NGC 4676 çarpışan gökada çiftinin Hubble ile alınmış görüntüsü. Gökadalar da sık olan bu çarpışmalar merkezlerindeki kara delikleri etkin hale getirebiliyor.

#### **Jetler:**

Kara deliğin yakınlarında müthiş bir çekim gücü var, o kadar ki ışık bile bükülüyor, kaçamıyor. İnanılması güç ama kara deliklerin bu çekim gücü aynı zamanda maddeyi çok etkili biçimde sistemden dışarıya da fırlatabiliyor. Havuzlardaki fıskiyeler gibi, astronomların jet adını verdikleri yapılar maddeyi hızla kara delikten uzağa savuruyor. Bir örneği Şekil 1’de var. Bu jetlerin oluşum mekanizmaları ve daha birçok özelliği iyi anlaşılmamış olsa da diskte oluşan manyetik alanların bir etkisi olduğu kesin. Yüklü parçacıklar (elektron, proton gibi) manyetik alanların çevrelerinde dönerler. Dönerken ivmelenen bu parçacıklar da sinkrotron adını verdiğimiz bir ışıma yaparlar. Bu ışıma en kuvvetli radyo bandında, radyo teleskoplar ile gözlenir. Bir hipoteze göre diskin dönmesi ile sıkışan manyetik alan bir yay gibi davranarak maddeyi dışarı atıyor. Bir başka hipoteze göre ise yay etkisini yapan disk değil, kara deliğin kendi etrafında dönmesi (spin).

Jetler hem güneş kütleli kara deliklerde, hem de dev kara deliklerde gözlenen bir olay. Özellikle dev kara deliklerde çok etkileyici oluyorlar çünkü içinde buldukları gökada kadar büyük olabiliyorlar. Şekil 5’de gösterilen Cen A bunun en çarpıcı örneklerinden biri. Dev jetlerin gökada evrimini de etkiledikleri biliniyor.

Özetlersek, evrende kesin olarak gözlenen ve bilinen kara delikler güneş kütlelerinde olanlar ve gökadaların merkezlerindeki dev kütleli olanlar. Bu iki tipin dışında da kara delikler olduğu düşünülüyor. Mesela Samanyolu dışındaki bazı gökadalarda gözlenen



Şekil 5. Cen A gökadasındaki dev jet. Cen A merkezinde dev bir kara delik olan bir gökada. Değişik dalga boylarında incelendiğinde (Şekil 5.a'da görünür ışık bölgesindeki resmi ile radyo dalgalarındaki resmi bir arada görülüyor) bize jetlerin neler yapabileceğini gösteriyor. Şekil 5.b de gökadanın x ışınlarında merkezinden ve bir jetten kuvvetli ışığa geldiği gözleniyor. Şekil 5.c ise merkezin gözle görünür bölgedeki resmi, normal bir gökadan farkı yok. Şekil 5.a da ise bu jetlerin neler yapabileceğini radyo dalga boyundaki gözlemlerde görüyoruz, jetler gökadalara arası maddeyi itererek neredeyse gökada büyüklüğünde boşluklar oluşturmuş.

birkaç kaynağın orta siklet (bir kaç yüz bin Güneş kütlesi) kara delik olduğu iddia ediliyor, ama kesin kanıt sunulmuş değil. Prof. Halil Kırbıyık'ın yazısında ele alınan ama henüz gözlenmemiş mini kara delikler de söz konusu. Bilinen kara delikler için, onları gözlemenin en etkili yolu çevrelerindeki maddenin ışmasına bakmak. Güneş kütleli kara deliklerde normal yıldızdan kara deliğe madde akarken, dev kara deliklerde gökada merkezinde biriken gaz kara deliğe akıyor, akarken ısınıyor ve x ışınlarında parlıyorlar.

Aynı zamanda akan maddeyi jet yapısıyla dışarı savurmayı da başarıyorlar. Evrenin en ilginç cisimlerinden biri olan kara delikler çevrelerine yaptıkları etkiyle biz astronomlara Dünya koşullarında elde edilemeyecek yoğunluk, sıcaklık ve fiziksel ortamlarda maddenin davranışı hakkında bilgi vermeye devam ediyorlar.