

KARADELİKLERİN OLUŞUM EVRESİ

- a) Yıldızların Evrimi
- b) Yıldızların Ölümü ve Beyaz Cüceler
- c) Süpernovalar ve nötron yıldızları

a) YILDIZLARIN EVRİMİ

Galaksimizde bir yerde binlerce ışık yılı uzaklıktaki ıssız bir bölgede bir yıldızlar arası gaz ve toz bulutu sessizce sürüklenmektedir. Bu gaz ve toz bulutu inanılmaz miktarda madde içerir. Çoğu hidrojen ve helyumdan oluşan bu bulut, güneşimize benzeyen yüzlerce yıldız oluşturabilecek ölçüde maddeye sahiptir.

Çok büyük kütesine karşın bulutun boyutları o denli büyüktür ki atomlar bu dev hacmin içinde henüz çok seyrekler. Dikkatli bir deney sonucu santimetreküpde on atom olduğunu görebiliriz. Buna karşılık soluduğumuz havanın bir santimetre küpünde 30 milyar kere milyar atom bulunur. Bu çok ilginç bir durumdur.

Bu bulut soğuktur. Mutlak sıfırın 100 derece üstü ($=-173^{\circ}\text{C}$) olan bu sıcaklıkta atomlar çok yavaş hareket ederler ve hemen hiç çarpışmazlar. İşte yıldızı doğuracak kozmik rahim böyle bir yerdir.

Kendi eksenini etrafında dönen dev bir gaz ve toz yığını ile birlikte milyarlarca yıldızdan oluşan sarmal bir galakside yaşıyoruz. Yıldızımız güneş, galaksimizin kenarına yakın ve iki sarmal kol arasındadır. Bu sarmal kollar galaksinin çekirdeği etrafında dönerken yıldızlar arası bulutu sıkıştıran şok dalgaları yaratırlar. Bu sıkıştırma yeni yıldızların doğum sürecini başlatır.

Bu sıkıştırma nedeni ile birbirinden çok uzakta olan atomlar birden bire sıkıştırılırlar. Eskiden şeffaf olan bu bulut artık ışığa karşı geçirgenliği yitirecek bir karanlık bulutsuya dönüşür.

Bulut ışığa geçirgen olmadığından; yıldızların ışıkları bulutun içine girip gazları ısıtamaz. Sıcaklık yavaş yavaş mutlak sifıra doğru düşer. Atomların hareketleri de gittikçe yavaşlar ve atomlar arasındaki zayıf çekim kuvveti bulutsunun iç yapısına egemen olmaya başlar. Ayrıca bu karanlık bulutsu homojen olmadığı için atomlar her yerde aynı sayı ve enerjide bulunmazlar. Peki bu nasıl bir sonuç doğurur?

Bilindiği üzere tüm maddeler çekim kuvveti uygularlar. Herhangi bir yerde biraz fazla madde olması demek o noktada çekim alanının daha kuvvetli olması demektir. Sonuç olarak karanlık bulutsunun kimi noktalarında fazla sayıda atom dolayısıyla daha fazla çekim alanı vardır. Böyle noktalar çevrelerinde yavaş hareket eden atomları kolayca çekerler. Bu durum karanlık bulutsunun içerisinde kümelenmelere sebep olur. Bu kümelenmelerin yarı çapları milyarlarca kilometre ve kütleleri ise güneş kütlelerinin bir kaç katı olabilir.

Uyarı: Güneşin kütlesi yaklaşık iki milyar kere milyar kere milyar tondur.

Kararsız olan bu kümeler kendi ağırlıklarını taşıyamazlar ve her yandan içeriye doğru basınç yapan trilyonlarca ton gaz nedeniyle küme çökmeye başlar.

Kendi çekim kuvvetinin etkisinde küme gittikçe küçülür ve merkezdeki gazlar çok yüksek basınç ve yoğunluklara ulaşır.

Artan basınç nedeni ile çöken kümenin çekirdeğindeki gazların sıcaklığının da artmasına neden olur. Bu sıcaklık sayesinde kümenin içindeki gazlar parlamaya başlar. Çöken gaz kümesinden dışarı radyasyon

süzülmeye koyulur. Küme artık karanlık olmayıp bir yıldız taslağı haline gelmiştir.

Ne var ki yıldız taslağı da karasızdır. Çekim kuvvetine karşı koyamayan bu gaz kümesi de büzülmeyi durduramaz, merkezindeki büzülmeden kaynaklanan basınç dolayısıyla sıcaklık artışını engelleyemez.

Sonunda, yıldız taslağının merkezindeki sıcaklık 10 milyon dereceye ulaştınca hidrojen yanması başlar. Dikkat edilirse bu çok büyük sıcaklıkta atomların hareketsiz kalması düşünülemez. Atom çekirdekleri öylesine büyük hızlarla hareket ederler ki çarpıştıkları zaman birbirleriyle kaynaşır. Bu önemli aşama hidrojenin, helyuma dönüşüm aşamasının başlangıcıdır. Kaynaşan her hidrojen çekirdeğine karşılık bir helyum oluşur. Bu olay sonucu çok yüksek değerler de saf enerji açığa çıkar. Bu enerji dönüşümünü Albert Einstein tarafından 20. Yüzyıl başlarında açıklanmıştır.

Bu korkunç enerji yıldız taslağındaki büzülmeyi durduracak, böylelikle yıldız taslağı kendi ağırlığını taşıyabilecektir. Artık bir yıldız doğmuştur.

Burada bahsedilen “hidrojenin yanması” denilen olay mumun alevi yada şöminedeki kütükler gibi yanan bir durum değildir. Termonükleer tepkime olarak da bilinen bu durum dayanılmaz sıcaklık ve basınç altında hafif elementlerin, ağır elementlere dönüşmesidir.

Güneş de bir yıldız olduğuna göre, onunda çekirdeğinde hidrojen yanması cereyan etmektedir. Bu durum milyarlarca yıl böyle süre gelmektedir. Hidrojen yakıt, helyum ise artıktır. Sonunda her yıldızın yaşamında hidrojenin bittiği kritik bir evre gelir ki, yıldızın milyarlarca yıl önce doğarken geçirdiği mutasyondan çok daha farklı değişimler başlar.

Yıldızın merkezindeki tüm hidrojen bittiğinde, hidrojen yanması durur. Dışarıya doğru akan bir enerji olmayınca da yıldız kendi çekim etkisinde dayanamaz. Kendi ağırlığını taşıyamayan helyumca zengin çekirdek çökmeye başlar. Bu çökmenin etkisi ile gittikçe sıkışan çekirdekte sıcaklık çok yüksek değerlere ulaşır. Her ne kadar merkez de hidrojen tükenmişse de çekirdekle yıldızın yüzeyi arasında bol miktarda hidrojen yakıtı vardır. Sonunda sıcaklık o kadar artar ki, çekirdeğin çevresinde bir katmanda hidrojen yanmaya başlar. Kabuk hidrojenin yanmaya başlamasıyla yıldız yeni bir enerji kaynağı ve bol miktarda yakıt bulmuştur. Yanan bir hidrojen tabakası ile kaplı çekirdek çökmeyi sürdürdükçe yıldızın dış katmanları dışarıya doğru itilir.

Merkezde devam eden çökme sonucu sıcaklık 100 milyon dereceye varınca helyum çekirdeklerinin hareketi artar, çarpışmaları kaynaşmalar takip eder ve bunun sonucunda karbon ve oksijen çekirdekleri oluşur. Yıldızın tarihinde ilk kez meydana gelen bu olay “ Helyumun Yanması ” olayıdır.

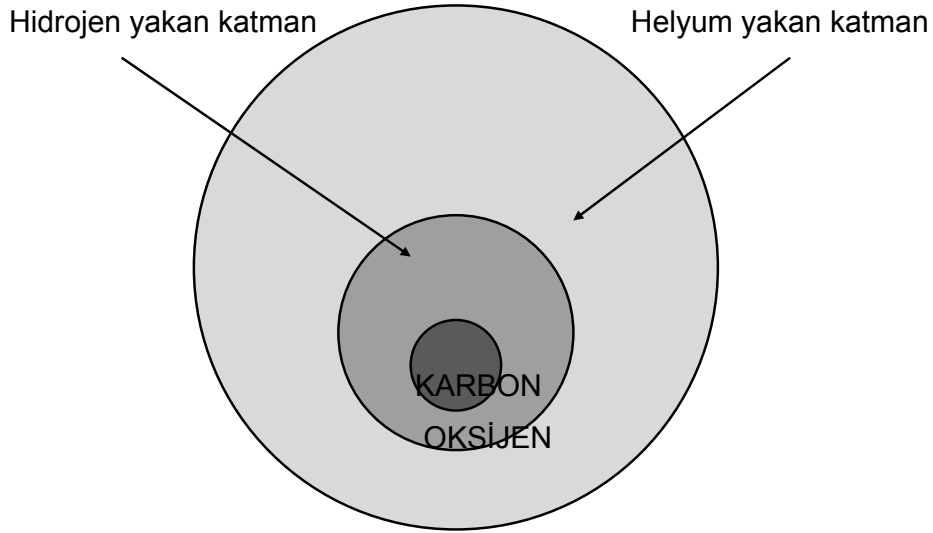
Helyumun yanması dışarı doğru yeni bir enerji akımı yaratır ve çökme durur. Şimdi çekirdeğin derinliklerinde iki tür termonükleer tepkime vardır.

1)Merkezde Helyum 2) Çevrede bir katmanda hidrojen yanması.

Bu tepkimeler sayesinde yıldızın boyutları giderek artar. Buna bağlı olarak dış katmanlara doğru yoğunluk ve basınç dolayısıyla sıcaklığın azalması kaçınılmazdır. Sıcaklığı dış katmanlara doğru giderek azalan bu yıldız **kırmızı dev** adını alır.

Neden kırmızı dev deniyor?

Evet nasıl helyum hidrojen yanmasının artığı ise, karbon ve oksijende helyum yanmasının artığıdır. Beklenebileceği gibi kırmızı dev devresinden bir kaç milyar yıl sonra yıldızın çekirdeğindeki helyumda tükenir. Bu nedenle helyum yanması durur ve yıldız tekrar çökmeye başlar. Bu çökme sonucu sıcaklık bir önceki durumlara nazaran çok yüksek bir değere ulaşınca dış katmanlarda ki helyum yanmaya başlar. Bu evrede yıldızın içinde iki katmana da termonükleer tepkime vardır. İçte helyum yakan katman dışta hidrojen yakan katman.



(ŞEKİL 1)

Şekil 1: Yaşlı küçük kütleli bir yıldızın yapısı. İç kısımdaki çekirdek çoğunlukla karbon ve oksijen den oluşmuş. Böyle bir evrede ki yıldız ölmek üzerdedir.

Bu gelişmeler güneşe benzeyen bir yıldızın yaşamındaki son evredir. Güneş tipi yıldızların kütleleri daha ileri düzeyde karbon ve oksijen tepkimelerini başlatacak denli büyük değildir. Yıldızların dış katmanlarının ağırlığı merkezde karbon ve oksijen termonükleer tepkimelerini başlatacak derecede büyük sıcaklık ve basınçlar oluşturamazlar. Hidrojen ve helyum yanmaları yıldızın dış katmanlarına doğru yayılır ama merkezdeki karbon ve oksijen tepkimeye girmeden kalır.

Yıldız bu yapısını sürdüremez. Kararsız hale geldiğinden büzülüp genişlemeye başlar. Her genişleme de yıldızın içi hafifçe soğur ve termonükleer tepkimelerin hızı yavaşlar. Enerji üretimi azalan yıldız büzülür ve artan basınç tepkimeleri hızlandırır. Enerji üretimi artan yıldız genişir ve çevrim yeniden başlar.

Sıcaklığa bağlı olan bu genişip büzölmelerin (atmaların) her biri binlerce yıl sürer. Sonunda atmalar o denli şiddetlenir ki yıldızın dış katmanları yanmış çekirdeğinden tamamen ayrılır. Bu dış katmanlar zamanla ardında bir yıldız kalıntısı bırakacak şekilde yavaşça uzaya yayılır. Bu son evreye “**gezegenimsi bulutsu**” denir.

Gezegenimsi bulutsular evrenin kısa ömürlü olgularıdır. Daha ileri termonükleer tepkimeleri başlatamayan bu yıldız yavaş yavaş büzölmeden dolayı küçülür; yer yüzünün boyutlarına gelince yıldız artık “beyaz cüce” olmuştur.

Neden beyaz cüce ?

Güneşimizin sonunda böyle olacaktır. Fakat güneşten çok büyük olan yıldızlar (50-60 kat büyük) vardır ki; bunlar daha ileri düzeyde termonükleer tepkimeleri başlatacak, sıcaklık milyarlarca dereceye yükselecek ve bu cehennemde daha ağır elementler de tepkimeye girecektir. Büyük kütleli yıldızlar için gezegenimsi bulutsunun oluşumu

fazla yumuşıktır. Bunun yerine büyük kütleli yıldızlar yaşamlarını evrenin en şiddetli olayı ile bitirirler. **Süper Nova Patlaması**. Bir kaç gün içinde yıldızın parlaklığı bir kaç milyon kat artar ve yıldız patlayarak dağılır. Bu büyük kütleli yıldızın içinde oluşmuş olan tüm ağır elementler uzayın derinliklerine yayılır.

b) YILDIZLARIN ÖLÜMÜ VE BEYAZ CÜCELER

İlk bölümde öğrendiğimiz gibi bir galaksinin sarmal kolu yıldızlar arası gaz ve toz yığınlarının içinden geçerken, yıldızların oluşması için uygun ortam hazırlanmış olur. Sarmal kol geçip gittiğinde bulutsular gözden kaybolacak, arkalarında binlerce ve binlerce genç yıldız bırakacak.

Not: Boyutları kütleleri ve kimyasal bileşimlerine bakıldığında genç yıldızlardan çoğunluğu güneşe benzer. Bu nedenle milyarlarca ve milyarlarca ton ile uğraşmak yerine yıldızların kütlelerini güneş kütle cinsinden tanımlayabiliriz. Bu tanımdan yola çıkarak güneşin kütlelerini 1güneş kütle alabiliriz. Benzer biçimde güneş kütlelerinin iki katı kadar madde içeren bir yıldız 2 güneş kütleli yıldız adı verilebilir.

Yine birinci bölümde, küçük kütleli yıldızların yaşamlarının sonunda arkalarında gezegenimsi bulutsular bıraktıklarını belirtmiştik. Daha sonra da büzülme ve genişlemelerden dolayı yıldızın, kütlelerinin önemli bir bölümünü uzaya atar.

Acaba gezegenimsi bulutsunun dağılıp kaybolmasından sonra arta kalan yakıtını yakıp tüketmiş yıldızın yapısı nedir?

Termonükleer tepkimelerin yıldızın kararlı bir yapıya sahip olmasında yaşamsal bir önemi olduğunu görmekteyiz. Örneğin hidrojen yanmasının başlaması, yıldız taslağının çöküşünü durdurur. Termonükleer

tepkimelerle üretilen ve dışarıya akan enerjide yıldızın dış katmanlarının ağırlığının taşınabilmesi için gerekli koşulları sağlar.

Daha fazla nükleer yakıt kalmayınca da gezegenimsi bulutsunun merkezindeki ölü yıldız büzölmeye başlar. Her yönden basınç yapan milyarlarca ton ağırlığındaki gaz da, yıldızı çok küçük boyutlara değin sıkıştırır. Gazlar o denli küçük hacimlere sıkışır ki atomlar parçalanmaya başlar.

Ölmekte olan küçük kütleli bir yıldızın derinliklerinde atomlar öylesine büyük bir kuvvetle sıkıştırılırlar ki, elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılır. Bu aşamada yıldızın içi elektron denizinde yüzen atom çekirdeklerinden oluşur. Sonunda yıldız yerküremizin boyutlarına değin küçüldüğünde elektronlar uygulanan basınca daha fazla dayanamazlar. Elektronlar birbirlerine öylesine yakındır ki , biraz daha sıkıştırma iki elektronun uzayda aynı yerde bulunması anlamına gelir. Daha doğrusu bu durum iki elektronun aynı “kuantum mekaniksel durumda” bulunması demektir. Bu ise *Pauli Dışarlama İlkesi* adı verilen doğa yasasınca olanaksızdır. Bu nedenle süreç sonunda ortaya çıkan basınç **Yoz Elektron Basıncı** adını alır ve yıldızın daha çok büzölmesini önler.

Yoz elektron basıncı, kütlesi güneşinkinin 1,4 katı kadar olan ölü yıldızların basıncını dengeleyebilir. Bu ölü yıldızların çapı yaklaşık 10.000 km kadardır. Yıldızın içindeki maddenin yoğunluğu öylesine yüksektir ki, birkaç santimetre küpünün ağırlığı 1000 ton gelir!...

Yıldız büzöldüğünde sıcaklık hafifçe düşer. Başta yüzey sıcaklığı 100.000 derecesinin üzerinde olan bu yıldız, dünyamızın boyutlarına değin küçüldüğünde yüzey sıcaklığı 40.000-50.000 derece kadardır. Bu akkor halindeki yıldızlar göz kamaştırıcı mavimsi beyaz bir ışıkla parıldarlar. Boyutlarının küçüklüğünden dolayı bu yıldızlara **beyaz cüce** adı verilir.

Beyaz cüceler galaksimizde en çok bulunan yıldız türlerindedir. Güneş dahil tüm küçük kütleli yıldızlar, yaşamlarının sonunda beyaz cüce olamaya mahkumdurlar.

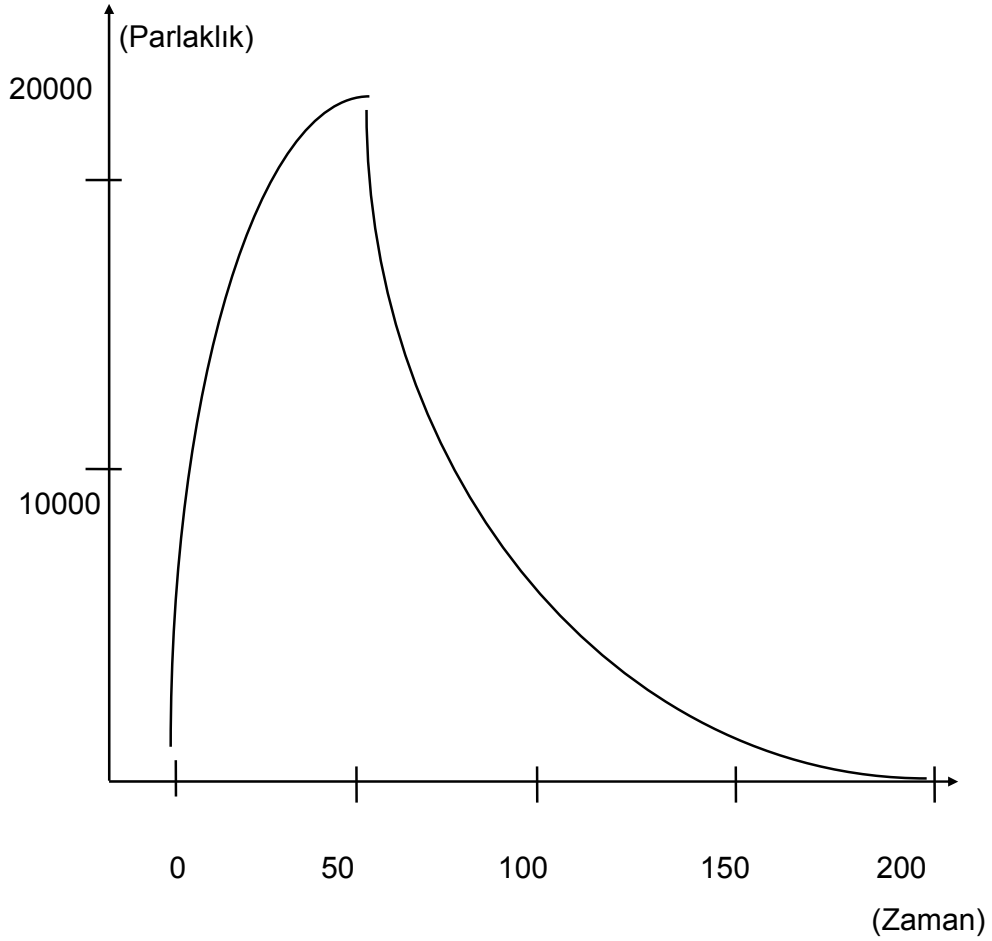
Beyaz cüceler genellikle uzayda parlak yıldızlarla beraber bir çift oluştururlar. (Gök yüzündeki yıldızların yaklaşık yarısının güneş gibi tek yıldız olmadığını öğrenmek bizi oldukça şaşırttı) Bu yıldızlar mesela **Sirius** gibi ortak bir kütle merkezi etrafında dönen çift yıldızlardır. Öyle yakın çift yıldızlar vardır ki, ortak kütle merkezi etrafında dönerken yıldızların yüzeyi birbirine değeri! Bu “Yakın Çiftlerde” eşlerden birinin evrimi diğerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin yıldızların birinden diğerine büyük miktarda gaz akım olabilir. Bu durum sanki bir *kütle transferi* olarak kabul edilebilir.

Beyaz cüce çok küçük olduğundan yüzey çekimi çok fazladır (Tüm güneş sisteminin kütlelerinin dünyamıza sığdırıldığını düşünelim) Bu nedenle kütle transferi nedeniyle beyaz cücenin yüzeyine gelen gaz kümesi biriktikçe sıcaklık ve basınç yükselir. En sonunda yıldızın yüzeyinde patlamalı bir hidrojen termonükleer tepkimesi başlar. Tepkime tüm yüzeye yayılınca beyaz cücenin parlaklığı 10.000 kat artar. Beyaz cüce artık bir **Nova** olmuştur.

Çok şiddetli bir olay olan nova patlaması, yakın çift yıldızlardaki beyaz cücelerin başına gelen çok sayıda olaydan yalnızca biridir ..

Beyaz cücelerin anlaşılması ilk kez 1930'larda yoz elektron basıncının ölü bir yıldızın ağırlığını taşıyabileceğini gösteren Hintli (Şimdi Amerikalı) fizikçi Chandrasekhar ile başlar. Chandrasekhar'ın hesapları, beyaz cücenin içinde sıkışık bir biçimde duran elektronların daha fazla sıkışmaya şiddetli bir tepki gösterdiğini ortaya koydu. Bu tepki sayesinde yıldız yanıp bitmiş milyarlarca ton ağırlığındaki gazların ağırlığına karşı koyabiliyordu.

Ama gaz elektron basıncı da sonsuzca güçlü değildir ve dengeleyebileceği madde ağırlığının bir üst sınırı vardır. Güneş kütlesinin 1,4 katı olan bu önemli sınıra **Chandrasekhar sınırı** denir. Tüm beyaz cücelerin kütlesini güneş kütlesinin 1,4 katından küçük olmak zorundadır.



Tipik Bir Novanın “ Işık Enerjisi ”

Bir yıldız nova patlaması sırasında normal parlaklığının binlerce hatta on binlerce katına erişir. En parlak haline ulaşması çok çabuk olur. Ve genellikle bir günden az sürer. Bunu izleyen düşüş ise çok daha yavaş olur.

c) SÜPER NOVALAR VE NÖTRON YILDIZLARI

Geçen bölümde güneş kütleinin 1.4 katı kadar olan yıldızların yaşam evrelerinin sonunun nasıl olduğunu öğrendik. Acaba güneş kütleinin 2 yada 3 katı kadar kütleli olan büyük kütleli yıldızlara ne oluyor? Bu yıldızların sonunu öğrenebilmek için öncelikle büyük kütleli yıldızların şiddetli ölümüne bir bakalım.

Geceleri gökyüzünde gördüğümüz yıldızların çoğu güneşe benzer. Kütleleri aşağı yukarı güneşinki kadar olan bu yıldızların enerjilerini bu yıldızların çekirdeklerinde yanan hidrojen sağlar. Günümüzden milyarlarca yıl sonra kırmızı dev haline geldiklerinde dış tabakalarını uzaya atacaklar ve yanıp bitmiş çekirdekleri büzülerek beyaz cüce oluşturacaklardır. Göreceli olarak küçük kütleli tüm yıldızların sonu budur, böyle yıldızlar helyum yanmasından ötedeki termonükleer tepkimeleri başlatmaya yetecek ölçüde kütleli değillerdir. Gezegenimsi bulutsu evresini geçirdikten sonrada kütleleri Chandrasekhar sınırının epeyce altında kalır.

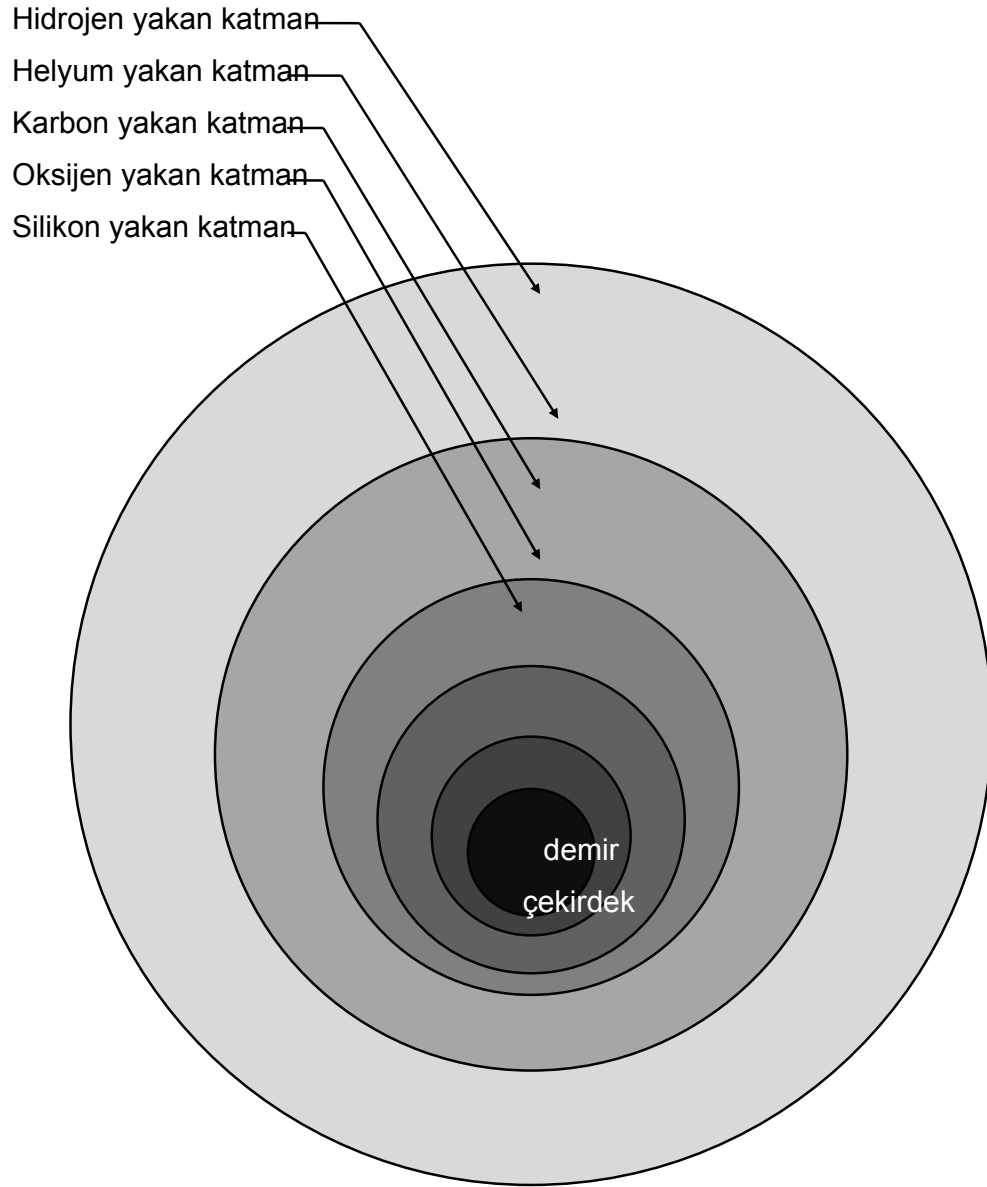
(Böyle kısa hatırlatmadan sonra büyük kütleli yıldızların yaşam evrelerini inceleyelim)

Tıpkı küçük kütleli olanlar gibi büyük kütleli yıldızlarda kırmızı dev evresine geldiklerinde merkezlerinde hidrojen ve helyum yakmaktadır. Ama büyük kütleli nedeniyle daha yüksek düzeyde ki tepkimeleri başlatabilirler. Anımsayacak olursak küçük kütleli bir yıldızın çekirdeğindeki karbon ve oksijence zengin yakıt, sıcaklığın düşük olması nedeni ile ateşlenemiyordu. Oysa büyük kütleli bir yıldızın korkunç basıncı, merkezdeki sıcaklığı 700 milyon dereceye değin yükseltir. Ve karbon

yanması başlar. Daha sonra sıcaklık 1 milyar dereceye ulaştığında oksijen ateşlenir. Her iki durumda da tepkimeler çekirdekte hidrojen ve helyum bitinceye kadar sürer. Bu anda tepkimeler bir anda durur ve çekim etkisi altında çekirdek büzölmeye başlar. Kısa bir süre içinde sıcaklık öylesine yükselir ki bu kez aynı tepkimeler çekirdek etrafındaki ince katmanda kendini gösterir.

Oksijen yanmasının artığı **Silikon'** dur. Oksijen tepkimeleri ince bir katman halinde yıldızın merkezinden dışa doğru yayıldıkça geride bol miktarda silikon bırakır. Daha fazla basınç merkezde ki sıcaklığı 3 milyar dereceye yükselttiğinde silikon yanmaya başlar.

Silikon yanmasının artığı ise **demir'** dir. Ama demir, merkezdeki sıcaklık ve basınç ne olursa olsun termonökleer tepkimeye girmez. Bu nedenle yaşamının sonuna doğru böyle büyük kütleli bir yıldız şekilde göröldüğü üzere demirce zengin bir çekirdek etrafında çeşitli termonökleer tepkimelerin sürüp gittiği ince katmanlardan oluşur. Çekirdeğe yaklaştıkça katmanlarda sıklaşır. Örneğin 15 güneş kütleline sahip bir yıldız da tüm termonökleer yanma katmanları en içteki 5 güneş kütleli bölüme sıkışmıştır. Yıldızın kütlelerinin geri kalan üçte ikilik bölümü geniş yüzeyin altında dağılmış bulunmaktadır.



(ŞEKİL 2)

Yaşlı Büyük Kütleli Bir Yıldızın Yapısı

En içte bulunan, yanmayı tamamlamış demirce zengin çekirdek, yıldızın yaklaşan ölümünün habercisidir. Yaşam sürecinin bu aşamasındaki bir yıldız eğer kütlesi yeterli ise patlayıp parçalanarak bir süper nova haline gelmek üzeredir.

Çekirdekte demirin birikmesi yıldızın şiddetli ölümünün ilk habercisidir. Doğal olarak merkezdeki demir atomlarının çekirdekleri ve elektronları birbirinden tümüyle ayrı durumdadır. Bir yıldızın merkezindeki sıcaklık ve basınç koşullarında hiçbir atom normal varlığını sürdüremez. Bu nedenle yıldızın içi tümüyle elektron denizinde yüzmekte olan demir çekirdeklerinden oluşur. Silikon yanması merkezden dışarıya doğru yayıldıkça ardında giderek daha çok demir çekirdeği ve elektron bırakır. Sonunda merkezdeki ölü bölge yıldızın basıncını taşıyamaz duruma gelir. Bu demir çekirdeğin kütlesi bir buçuk katına ulaştığında oluşan basınçlar öylesine büyüktür ki bu basınç altında elektronlar demir atomu çekirdeklerinin içine itilirler. Eksi yüklü elektronlarla artı yüklü protonlar birleşerek nötron oluştururlar. Nötronlar ise kendilerini meydana getiren proton ve elektronlardan çok daha az yer kaplarlar. Sonuçta yıldız şiddetle çöker. Bu çökme çok ani olur ve açığa çıkan enerji, yıldızın doğumundan o ana kadar yaydığı toplam enerji kadardır. Milyarlarca yıldız ışığı biçiminde azar azar yayılan enerji bir kaç saat gibi kısa bir sürede yıldızın içini doldurur. Çöken çekirdekten yayılan şok dalgası dışarı doğru yayılırken yıldız tümüyle parçalanır. Yıldız bir **Süper nova** olmuştur.

Süper nova patlaması sırasında yıldızın parlaklığı yüz milyon kat artar. Bir kaç gün içinde yıldızın parlaklığı içinde bulunduğu galaksinin parlaklığını gölgeleyebilir.

Süper novanın büyük bir nova olmadığını bilmek gerekir. İkisi de değişik nedenlerle ve değişik yıldızlarda oluşurlar. Örneğin nova patlaması

uzaya az miktarda madde püskürtür. Öte yandan Süper nova patlaması çok büyük miktarda madde ses üstü hızlarla uzaya atılır püskürtülen bu gazlar yıldızlar arası ortamla etkileştiğinde flüoresans olayına benzer bir şekilde ışıkla parıldar. Hatta bu çarpışmalar öyle şiddetli olur ki X-ışınları dahi oluşabilir.

Küçük kütleli bir yıldızın yanıp bitmiş bir çekirdeğinin, çevresindeki gezegenimsi bulutsu gözden kaybolunca nasıl büyüüp soğuyarak beyaz cüceye dönüştüğünü biliyoruz. Aynı biçimde büyük kütleli bir yıldızın nötronca zengin çekirdeğinde bir yıldız artığı oluşturulur. Ama bu artık beyaz cüceye dönüşmez. Kütleli genellikle Chandrasekhar sınırının biraz üzerinde olduğundan yoz elektron basıncı yıldızın ağırlığını taşıyamaz.

Anımsayacak olursak yoz elektron basıncı iki elektronun aynı anda aynı yerde bulunamayacaklarını söyleyen Pauli dışarlama ilkesi nedeniyle oluşuyordu. Beyaz cüceler kararlıdır ve daha fazla çökemezler, çünkü daha fazla basınç iki elektronu aynı anda aynı yere hapsetmek demektir ki, bu yasaktır.

Elektronlar gibi nötronlarda Pauli dışarlama ilkesine uyarlar. İki nötron aynı anda aynı yere sıkıştırılamaz. Sonuç olarak büyük kütleli bir yıldızın nötronca zengin çekirdeği küçük bir hacme kadar sıkıştırıldığında **yoz nötron basıncı** oluşur. Bu kuvvetli basınç büzölmeye engel olur. Ölü yıldız bir Nötron Yıldızına dönüşmüştür.

Bir çok bakımdan nötron yıldızları beyaz cücelerin biraz abartılmış kopyaları gibidir. Beyaz cüceler küçük ve yoğundur. Nötron yıldızları ise çok daha küçük ve daha yoğundur. Nötron yıldızları beyaz cücelere nazaran daha hareketlidir.

Beyaz cücelerle nötron yıldızları arasında önemli bir benzerlik daha vardır. Bir önceki bölümde beyaz cücelerin kütleleri için bir üst sınır

olduğunu görmüştük. Tüm beyaz cücelerin kütleleri güneşin kütlelerinin 1.4 katından daha azdır. Yoz elektron basıncının daha büyük kütlelerin basıncını dengeleyemeyeceğini biliyoruz.

Aynı nedenle nötron yıldızlarının kütleleri konusunda da bir üst sınır vardır. Yoz nötron basıncı kütleleri güneşin kütlelerinin 2,5 katından çok olan yıldızların basıncını dengeleyemez. Bu yüzden tüm nötron yıldızlarının kütleleri. Bir sınır değerinden küçük olmalıdır.

Peki şimdi bir yıldız düşünelim ki; yaşamının son evresinden geriye güneş kütlelerinin 2,5 katından daha fazla bir kalıntı bırakıyor. Bu durumda nasıl bir olay gerçekleşecek acaba? Beyaz cüce olamaz. Çünkü yoz elektron basıncı bu ağırlıktaki kütleyi dengeleyemez. Yine bundan dolayı patlamalı bir süper novaya dönüşemez.

1960'lı yılların en önemli kuramsal buluşlarından biride büyük kütleli yıldızların (güneş kütlelerinin 2,5 katından büyük) ölümleri sırasında çok büyük ölçülerde çekimsel çökmeye uğrayacaklarının anlaşılması idi.

DOĞADA, GÜNEŞİN KÜTLESİNİN 2,5 KATINDAN FAZLA KÜTLELERİN BASINCINI DENGELEYEBİLECEK HİÇBİR KUVVET YOKTUR..

Bu nedenle ölmekte olan büyük kütleli bir yıldızın kendisinin dev, affetmeyen basıncı altında çöker, büzülür. Her yönden basınç yapan bin milyarlarca ton ağırlığındaki yanıp bitmiş yıldız maddesi yıldızın gittikçe küçülmesine neden olur. Gerçekte tüm yıldız tek bir noktada varlığını yitirir. Bu çökme sırasında yıldızın çevresindeki çekim alanı öylesine güçlüdür ki, uzayın ve zamanın dokusu kendi üzerine katlanır ve yıldız tam anlamı ile evrenden yok olur.

Geride kalan bir **KARA DELİK'** tir.

KARA DELİKLERLE İLGİLİ ÇEŞİTLİ TEORİLER

OLAY UFKU : Bir yıldızın kütleli çekim alanı ,ışık ışınlarının uzay-zaman içindeki yollarını ,yıldızın varolmadığı duruma göre ,değişikliğe uğrattır. Uçlarından yayılan ışık demetlerinin uzay-zamanda izlediği yolu gösteren ışık konileri ,yıldızın yüzeyine yaklaştıkça içeriye doğru bükülürler. Bu ,güneş tutulması sırasında ,gözlemlenen uzak yıldızlardan gelen ışığın sapmasında gözlenir. Yıldız büzüştükçe yüzeyi yakınındaki çekim alanı gittikçe şiddetlenir ve ışık konileri daha çok bükülürler. Bu da ışığın yıldızdan kaçmasını zorlaştırır. Uzaktaki bir gözlemciye göre ışık daha sönük ve kıvrımlı görünür. Sonunda yıldız belli bir kritik yarıçapın altına yüzeyindeki çekim alanı o denli şiddetli ve ışık konisi o denli bükük olur ki artık ışık kaçamaz. Özel görecelik kuramına göre hiçbir şey ışıktan hızlı gidemeyeceğinden eğer ışık kaçamıyorsa ,hiçbir şey kaçamaz ;her şey kütleli çekimin etkisiyle geri döner. O halde öyle bir takım olaylar ,uzay-zamanın öyle bir bölgesi vardır ki ondan kaçılıp uzaktaki bir gözlemciye ulaşılamaz. Bu gün kara delik dediğimiz cisimler böyle bir bölgeyi içerir. Kara delikten çıkmayı kıl payı başaramayan ışık ışınlarının yollarının kesiştiği sınıra *olay ufku* denir.

Kaçılması olanaksız uzay-zaman bölgesinin sınırı olan olay ufku kara deliği çevreleyen tek yönlü bir zar gibidir. Hiçbir şey olay ufkundan geçip kara deliği terk edemez. Olay ufkundan içeri düşen herkes ve her şey , kısa bir sürede sonsuz yoğunluk bölgesine ,zamanın sonuna ulaşır.

TEKİLLİK (SİNGULARTY) : Roger Penrose ve Stephen Hawking 'in 1965 ve 1970 yılları arasında yaptığı çalışmalar gösterdi ki ,genel görecelik kuramına göre kara deliğin içinde sonsuz yoğunlukta bir tekillik ve uzay-zaman eğriliği olması gerekir. Bu zamanın başlangıcına ilişkin büyük patlama teorilerine benzer ,yalnız bu ,çöken cisimle birlikte oradaki gözlemci için de zamanın sonu olacaktır. Bu tekillikte bilim yasaları ve geleceği kestirebilme olanağımız yok olacaktır. ama kara deliğin dışında

kalan bir gözlemci bu hesaplayabilme başarısızlığından etkilenmeyecektir. Çünkü tekillikten ne ışık ne de başka herhangi bir şey ona ulaşamayacaktır. Bu olağan üstü gerçek karşısında Roger Penrose “*doğa ,çıplak tekillikten nefret eder.*” tümcesiyle özetlenebilecek KOZMİK SANSÜR önermesini ortaya attı. Bir başka deyişle ,çekimsel çökümün oluşturduğu tekillikler ,ancak bir olay ufku ardında gizlenebildikleri kara delik gibi yerlerde olabilirler. Tam anlamıyla buna zayıf kozmik sansür önermesi denir. Kozmik sansür ,kara deliğin dışında kalan gözlemcileri tekillik bölgesinde hesaplanabilirliğin yok olmasının sonuçlarından korur. Ama deliğe düşen gözlemci için bir şey yapamaz.

Genel görecelik denklemlerinin bazı çözümlerine göre olay ufkunu geçen bir gözlemcinin çıplak tekilliği görmesi olanaklıdır. Yani tekillığe çarpacağına bir dehlizden geçerek kendini evrenin başka bir bölgesinde bulabilir. Bu uzay ve zamanda yolculuk için büyük fırsatlar yaratacak gibiyse de ne yazık ki bu çözümlerin tümü de son derece kararsızdır. Yani en küçük bir dış etki ,bir astronotun varlığı durumu değiştirebilir. Böylece astronot tekillığe çarpacağına ,yani sonu gelinceye dek onu göremez ,başka bir deyişle ,tekillik daima astronotun geleceğinde kalır ,asla geçmişinde olamaz. Kozmik sansür önermesinin kuvvetli anlatımı şunu belirtir ,gerçekçi bir çözümde tekillikler ya tümüyle gelecektedirler (çekimsel çökümdeki tekillikler gibi) ,ya da tümüyle geçmiştedirler (büyük patlamadaki gibi). Kozmik sansür önermesinin şu ya da bu biçimde geçerli oluşuna büyük umut bağlanmaktadır. Çünkü böylece çıplak tekilliklerin yakınında geçmişe yolculuk yapılabilecektir.

Kara delikler uzayda her şeyi içine çeken dev elektrikli süpürgeler gibi düşünülmemelidir. Kendilerinden yeteri kadar uzakta (olay ufku dışında) bulunan bir cisme uyguladıkları çekim kuvveti ,aynı kütleyle sahip başka bir cisminkinden farklı değildir.

Dünyadan arılan bir cismin kaçış hızı saniyede 11.1886 km ($V=11.2$ km/s) dir. Normalde 6370 km yarıçapında olan dünya bir bezelye büyüklüğünde olsaydı kaçış hızı :

$$mv^2/2=GmMy/R \quad V=(2GM/R)^{1/2}$$

$R=R_{\text{bezelye}}=0.25$ cm $My=5.976 \cdot 10^{24}$ kg değerleri yerine yazılırsa :

V_b : bezelye büyüklüğündeki dünyamızdan kaçış hızı yaklaşık $5.65 \cdot 10^8$ m/s bulunur. Işık hızının yaklaşık $3 \cdot 10^8$ m/s olduğu düşünüldüğünde bezelye büyüklüğündeki dünyanın yüzeyinden kaçışın mümkün olmayacağı görülür. Çünkü hiçbir şey ışıktan hızlı gidemez .

Genel görecelik kuramına göre büyük kütlelerden oluşmuş bir sistem zamanla yaydığı kütleçekim dalgaları nedeniyle durağanlıkta kara kılar. Çünkü her türlü devinimin enerjisi ,çekim dalgalarının yayınlanmasıyla uzaklaşıp gidecektir.

Bir kara delik oluşturmak üzere olan yıldızın çekimsel çökümü sırasında devinimler çok daha çabuk olacağından ,enerjinin taşınma hızı da çok daha çabuk artacaktır. Şu halde yıldızın durağanlığa ulaşması için çok zaman geçmesi gerekmeyecektir. Acaba bu son aşama nasıl olacaktır ? Bunun ,yıldızı oluşturan bileşik yapıya (yalnızca kütlesi ve dönme hızı) değil ,yıldızın çeşitli bölümlerinin değişik yoğunluklarına yıldız içindeki gazların karmaşık devinimlerine bağlı olacağı düşünülebilir. Ve kara

delikler de çöküp onları oluşturan cisimler kadar çeşitliyse ,kara deliklere ilişkin genel önermeler bulmak çok zor olabilir.

Ancak 1967'de kara deliklere ilişkin çalışmalar Kanadalı bilim adamı Werner Israel tarafından kökten değişikliğe uğratıldı. Israel dönmeden duran kara deliklerin genel görecelik kuramına göre çok basit yapıda olmaları gerektiğini gösterdi. Kara delik çapı kütesine bağlı olan tam bir küre biçimindeydi ve kütleleri eşit olan herhangi iki kara delik birbirlerinin tıpatıp aynı olması gerekirdi. Hatta genel görecelik kuramının ortaya çıkışından kısa bir süre sonra Karl Schwarzschild tarafından bulunmuş bir özel çözümü ile tanımlanabilirdi. İlk bir çok bilim adamı ,Israel 'in kendisi bile ,kara deliğin tam bir küre olduğundan ,ancak tam bir küre biçiminde bir cismin çökmesiyle oluşabileceğini savundu. Gerçekte bir yıldız tam bir küre olamayacağına göre çökünce olsa olsa bir çıplak tekilik oluşturabilirdi.

Ancak Israel 'in bulduğu sonuçların ,özellikle Roger Penrose ve John Wheeler tarafından savunulan bir başka yorumu vardı. Bu yorumda ,yıldızın çöküşü sırasındaki hızlı devinimlerin ,yaydığı çekim dalgalarıyla yıldızın gittikçe tam bir küreye benzeyeceği ve böylece durağan hale gelince yıldızın tam bir küre olacağı iddia ediliyordu. Bu görüşe göre ,dönmeyen herhangi bir yıldız ,biçimi ve iç yapısı ne denli karmaşık olursa olsun ,çekimsel çöküm ,çapı yalnızca kütesine bağlı tam bir küresel kara delikte son bulacaktı. Daha sonra yapılan hesaplar da bu görüşü doğruladı ve kısa sürede herkesçe benimsendi.

Israel 'in bulduğu sonuç yalnızca dönmeyen yıldızların oluşturduğu kara delikler içindi. 1963'de Roy Kerr adlı Yeni Zelandalı bilim adamı ,dönen kara delikleri tanımlayan genel görecelik denklemlerine bir çözümler takımı buldu. Büyüklükleri ve biçimleri yalnızca kütleleri ve dönme hızına bağlı olan bu Kerr kara delikleri ,değişmeyen bir hızla dönmekteydi. Dönme hızı sıfır ise kara delik tam küre biçiminde olacaktı.

Bu çözüm Schwarzschild çözümünün aynıydı. Dönme hızı sıfırda farklı ise kara delik ekvatorunun yakınında şişkin olacaktı ve dönüş hızı herhangi bir nedenle artarsa şişkinliği de artacaktı. Israel 'in sonucunun kapsamına dönen kara delikleri de alarak genişletmek üzere ; çöküp bir kara delik oluşturan herhangi bir cisim eninde sonunda Kerr çözümü ile belirlenen durağan bir durumda karar kılacağı böylece varsayıldı.

1970' Cambridge 'de araştırma yapan Brandon Carter bu varsayımı kanıtlamak için ilk adımı attı. Yerinde dönen bir kara deliğin ,fır fır dönen bir topaç gibi bir bakışım eksenini varsa ,boyutu ve biçiminin yalnızca kütlesi ve dönme hızına bağlı olacağını gösterdi. Daha sonra 1971 'de Stephen Hawking olduğu yerde dönen bir kara deliğin gerçekten bir bakışım eksenini bulunacağını kanıtladı. Son olarak 1973 'de Londra'da Kings Collage 'den Davit Robinson ,Carter 'la Stephen Hawking 'in sonuçlarını kullanarak varsayımın doğruluğunu gösterdi. Böyle bir kara delik gerçekten de Kerr çözümüne uymalıydı. Böylece çekimsel çökümden sonra kara delik düzgün bir dönme deviniminde karar kılmalıydı. Ayrıca büyüklüğü ve biçimi çökerek onu oluşturan cismin doğasına değil ,yalnızca kütlesi ve dönme hızına bağlı olmalıydı. Bu sonuç *kara deliklerin saçı yoktur* önermesiyle bilinir.

SAÇSIZLIK KURAMI : Bu kuram uygulamada büyük önem taşımaktadır. Çünkü olanaklı kara delik çeşitlerini büyük ölçüde sınırlamaktadır. Böylece içinde kara delik olabilecek nesnelere ayrıntılı modeli yapılabilecek ve modellerin öngörülerini ,gözlemlerle karşılaştırılabilecektir. Bu kuram aynı zamanda ,çöken bir cisme ilişkin özelliklerin tamamen yitirileceğini söyler. Saçsızlık teoreminin gösterdiği ,bir cisim kara delik oluşturacak şekilde çökerken büyük miktarda enformasyonun kaybolduğudur. Çökmekte olan cisim çok fazla parametre ile tanımlanabilir. Bunlar ,çeşitli madde cinsleri ve kütle dağılımlarının multipol momentleri olabilir. Lakin oluşan kara delik ,madde cinsinden

bağımsızdır ve ilk ikisi dışında hızla bütün multipol momentlerini kaybeder. Kalanlar ,kütle ile dipol momentini ,yani açısal momentinden ibarettir.

KARA DELİKLER O KADAR DA KARA DEĞİL !

Stephen

HAWKİNG

Bir kara deliğin sınırı olan olay ufku ,kara delikten uzaklaşmayı başaramayıp ,sonsuzda değin kenarında dolaşan ışık ışınlarının uzay-zaman içindeki yollarından oluşmaktadır. Bu ışık ışınlarının yolları birbirine hiçbir zaman yaklaşamaz. Eğer yaklaşırsalardı ,eninde sonunda birbirleri içinden geçmeleri gerekirdi. Bu yüzden olay ufkundaki ışık ışınları her zaman birbirine koşut ya da birbirlerinden uzaklaşacak biçimde devinmeliydi. Bunu görmenin başka bir yolu ,olay ufkunu yani kara deliğin sınırlarını ,bir gölgenin kenarı kaçınılmaz kıyamet bölgesinin sınırı olarak kafada canlandırmaktır. Güneş gibi uzaktaki bir kaynağın düşürdüğü gölgeye baktığımızda ,kenardaki ışık ışınlarının birbirlerine yaklaşmadıkları görülür.

Olay ufkunun yani kara deliğin sınırını oluşturan ışık ışınları birbirlerine hiç yaklaşamıyorlarsa olay ufkunun alanı aynı kalabilir ya da zamanla artabilir ,ama hiçbir zaman azalmaz ,çünkü bu ışık ışınlarından en azından bir bölümünün ,birbirlerine yaklaşması anlamına gelir. Aslında ,ne zaman bir madde ya da ışımaya kara deliğin içine düşse alanın artması gerekir. Ya da iki kara deliğin çarpışıp tek bir kara delik oluşturmak üzere kaynaşsa ,ortaya çıkan kara deliğin olay ufkunun alanını ilk iki kara deliğin olay ufklarının alanlarının toplamına eşit ya da daha büyük olur. Olay ufkunun alanının bu azalmama özelliği ,kara deliklerin olası davranış biçimleri üzerinde önemli bir kısıtlama koymaktadır.

Bu durum, termodinamiğin ikinci yasasına göre,entropinin davranışına çok benzemektedir. Entropi kısaca bir dizgenin düzensizliğini ölçmekte kullanılan fiziksel niceliktir. Entropi ,hiç azalmaz ve tüm sistemin entropisi ,onu oluşturan parçaların entropileri toplamından büyüktür.

Cisimler hiçbir zaman buldukları düzensiz durumdan kendiliğinden daha düzenli bir duruma getirilemezler. Düzensizlikten düzen yaratılabilir ,ama bu ,enerji ister ve eldeki düzenli enerjinin bir kısmının harcanmasını gerektirir. Düzensizlik arttıkça daha az öngörülebilir hale gelirler. Öngörülebilirlikteki bu azalma bir bakıma (entropinin kullanılmayan bilgi anlamına gelmesi nedeniyle) entropideki artışın da bilgi kaybı anlamına gelmesidir.

Bir kara delik bilgiyi ardında gizler. Kara delik kendisini doğuran yıldızın tüm bilgisini hacimsiz bir kütleyle ,dönüş hızına ve yüke dönüştürür. Kara deliğin içine giren herhangi bir şey kaybolan bu bilgi hazinesine bir şeyler ekler. Ayrıca ,kara deliğin kütesinin ve olay ufkunun alanının artmasına neden olur. Dolayısıyla kara deliğin olay ufkunun alanını entropisinin bir ölçüsüdür.

Aynı mantıkla 1970 'de Princeton 'da bir lisans öğrencisi olan Jacop Bekenstein ,kara deliklerin bir entropisi olduğunu yazdı. Başlangıçta hiç kimse buna inanmak istemedi.

Eğer bir şeyin entropisi olursa ,sıcaklığı da olmalıdır. Eğer sıcaklığa sahipse bu şey ısınır. Eğer bu şey ısınırsa ,artık bu şeyden hiçbir şeyin yayınlanmadığını söyleyemeyiz.

Yakınımızda bir kara delik olsaydı termodinamiğin ikinci yasasına karşı gelmenin kolay bir yolu olurdu. Öyle ki kara delikten içeri bol entropili madde attığımızda kara deliğin dışındaki maddenin toplam entropisi azalacaktır. Ama hala denilebilir ki kara deliğin içindeki entropiyi de katarsak toplam entropi azalmamıştır. Ama kara delikten içeri bakamadığımızdan içinde ne kadar entropi var ölçemeyiz. Kara deliğin dışındaki gözlemci entropiyi azalmış gibi gözlemleyecektir.

Bekenstein 'in önerisi termodinamiğin ikinci yasasının zorlanmasını birçok durumda önler gibi gözüküyor. Buna karşın çok daha büyük bir çarpıklığı vardı. Eğer bir kara deliğin entropisi varsa o zaman sıcaklığı da olmalıdır. Belli bir ısıyı olan cisim belli bir miktarda ışıır yani radyasyon yayar. Tıpkı ateşte ısıtılan demir çubuk gibi. Bu ışımaya termodinamiğin ikinci yasasının zorlanmaması için gereklidir. Bu nedenle kara deliklerin de ışımaları gerekecektir. Ama tanımı gereği ,kara delikler hiçbir şey yayınlamamalıdır. Böyle düşünüldüğünde bir kara deliğin olay ufkunun alanının ,o kara deliğin entropisi olarak yorumlanamayacağı anlaşılıyordu. 1972'de Jim Bardem ,Brandon Carter ve Stephen Hawking entropi ile olay ufkunun alanı arasında birçok benzerlik olmasına karşın ,yukarıda değinilen nedenlerin bu olasılığı yok eden bir zorluğu olduğunu belirten bir makale yayınladılar.

Hawking ,bir kara deliğin entropisinin olduğu savını kabul etmiyordu ve bu savı çürütmek için çalışmalara başladı. 1973 yılının eylül ayında Moskova ziyareti sırasında kara delikleri Yakov Zeldovich ve Alexander Starabinsky adlı iki Sovyet uzmanla tartıştı. Kendi eksenleri etrafında dönen kara deliklerin tanecik mekaniğinin belirsizlik ilkesine parçacık üretip yayınlamaları gerektiği konusunda Hawking 'i ikna ettiler. Hawking bu savı dayandığı fiziksel temeli dolayısıyla kabul etti. Fakat hesaplamalardaki matematiksel yöntemi beğenmedi. Kendisi daha iyi bir matematiksel yöntem geliştirdi ve sonuçta bir kara deliğin dönmese bile kararlı bir hızla parçacık yaratıp yayınlamaları gerektiğini buldu. Sonra yayınlanan bu parçacıkların elektromagnetik spektrumu sıcak bir cisminkiyle aynı olduğu ortaya çıktı. O zamandan beri bu saptamalar başka bilim adamlarınca da değişik biçimlerde tekrarlandı. Hepsi de kara deliklerin ısıyı kütlelerine bağlı olarak ,yani daha büyük kütle daha düşük ısıya karşılık gelmek üzere ,bir sıcak cisim gibi parçacık ve ışımaya yayınlaması gerektiğini doğruladı.

Nasıl oluyor da olay ufkunun hiçbir şeyin dışarı kaçamayacağını bildiğimiz halde bir kara delik parçacık yayınlamaları gözüküyor. Bunun yanıtı

tanecik kuramının bize söylediğine göre , parçacıkların kara deliğin içinden değil ,kara deliğin olay ufkunun hemen dışındaki “boş” uzaydan geldikleri biçimindedir. Uzayı boşluk (vakum) olarak düşünürüz ,fakat bu yanlıştır. Uzay tamamen boşluk değildir. Çünkü uzayın tamamen boş olabilmesi için çekim veya elektromagnetik alan gibi bütün alanların tam tamına sıfır olması gerekir. Bir alanın değeri ve zamanla değişim hızı ,bir parçacığın konumu ve hızı gibidir. Belirsizlik ilkesine göre ,bunlardan birisi daha büyük doğrulukla bilindiğinde diğerini bilme doğruluğu azalır. Bu yüzden boş uzayda alan ,kesinlikle sıfır olarak saptanamaz. Çünkü o zaman alanının hem kesin bir değerinin (sıfır) hem de kesin bir değişim hızının (bu da sıfır) olması gerekecektir. Alanın değerinde çok az bir belirsizlik değeri ya da tanecik dalgalanmalarının olması zorunludur. Bu dalgalanmalar ,zaman zaman birlikte ortaya çıkan ,birbirlerinden ayrılan ve daha sonra yeniden bir araya gelip birbirini yok eden ışık ya da çekim parçacıkları çiftleri olarak düşünülebilir. Bunlar güneşin çekim kuvvetini taşıyanlar gibi “ sezgisel ” parçacıklardır.

ANTİMATTE TEORİSİ

Antimatteye ilişkin ilk ipuçları 1920’lerde İngiliz fizikçi Paul Dirac’ın fizik dünyasındaki en son fikirler olan Einstein ‘ın özel görecelik teorisi ile kuantum fiziğini bir araya getirmesiyle ortaya çıktı. Özel görecelik teorisi ,cisimlerin hızlarının ışık hızına yaklaştığı durumları ,kuantum fiziği ise parçacıkların küçük ölçeklerde nasıl davrandıklarını tanımlar. 1925’ten önce bu iki teori birbirinden bağımsız gelişti fakat atomun içindeki elektronların hareketini tanımlamak için her ikisine de ihtiyaç duyuldu. Çünkü elektronlar ışık hızına yakın hızlarda hareket ediyorlardı.

Dirac her iki teoriyi de birleştirerek “Dirac denklemleri ” olarak bilinen ,elektronun görelilik kuantum teorisini ortaya koydu. Işın garip tarafı Dirac ’ın denklemlerinde elektronla aynı ağırlıkta fakat zıt yüklü bir parçacığın olması gerektiği üzerinde durması idi. Dirac 1931’de anti-

elektronun diğer adıyla pozitronun varlığından söz ediyordu. Dirac pozitron ile elektron bir araya geldiğinde gama ışını yayarak bu çiftin yok olduğunu belirledi. Bu olaya yok olma (annihilation) denir.

Pozitronun varlığı 1932'de Amerikalı fizikçi Carl Anderson tarafından doğrulandı. Anderson ,kozmiik ışın adı verilen uzaydan gelen yüksek enerjili bir parçacığın ,atmosferdeki moleküllerle çarpışmasıyla anti parçacığın meydana geldiğini farkettti. Atomaltı parçacıklardan biri olan pozitronun sis odası yardımıyla izlenen hareketlerinde gariplik gözlemlendi. Bu ,saptanan izin protonunun çizdiği izlere göre daha zayıf olmasıydı. Bu durum bilim adamlarını ,parçacığın elektron olması gerektiği yönünde düşünmeye itiyordu. Fakat sis odasının çevresindeki manyetik alan ,gizemli parçacığın beklenmeyen bir şekilde elektronun hareketinin zıt yönünde hareket etmeye zorluyordu. Bu da onun pozitif yüklü bir parçacık olması gerektiğini gösteriyordu.

Bilim adamları artık bütün parçacıkların anti madde eşi olduğunu biliyorlar. Protona karşılık bir anti proton ,nötrona karşılık bir anti nötron vb. bu madde-anti madde çiftleri eşit kütleyle sahip fakat kuantum sayılarının işaretleri zıttır. Elektronlar lepton ailesinden geliyorlar ve lepton sayıları 1'dir. Pozitronun ise lepton sayısı elektronunkine zıt -1'dir. Lepton sayısı korunumlu bir niceliktir ,yani etkileşimden önce ve sonra bu sayıların toplamı her zaman aynı kalır. Bir elektron ve pozitron birbirini yok ederken açığa çıkan fotonun lepton sayısı ise sıfırdır.

Anti maddenin keşfiyle çoğu şaşırtıcı sonuç ortaya çıktı. Örneğin bir kararsız çekirdek beta bozunumu adı verilen süreçte bozunur ve bir elektrom açığa çıkar. Bilim adamları ,çekirdek bozunurken her ne kadar belli bir enerji değişimi olsa da ,açığa çıkan elektronların belli bir maksimum noktaya kadar enerji spektrumlarının sürekli olduğunu buldular. Bu maksimum noktanın altında bir enerjiye sahip elektronların olması durumunda eksik enerjiye ne olduğu konusu fizikçileri epey

düşündürdü. Hatta Danimarkalı fizikçi Niels Bohr beta bozunumunun enerjinin korunumu ilkesini ihlal ettiğini düşünmüştü. Ancak 1930 'da Avustralya asıllı İsviçreli fizikçi Wolfgang Pauli bir çözüm önerdi. Eksik enerji ,gözlemlenemeyen bir parçacık tarafından taşınıyordu. Parçacığın adı da *nötrino* idi.

Bu gün beta bozunumu sırasında ortaya çıkan elektrona eşlik eden parçacığın antinötrino olduğu biliniyor. Beta bozunumuyla +1 lepton sayılı elektron ortaya çıkıyor. Eğer bu işlem yalıtılmış bir ortamda gerçekleşmiş olsaydı lepton sayısı korunumu ihlal edilmiş olacaktı. Bu nedenle çekirdek aynı zamanda -1 lepton sayılı bir antilepton da açığa çıkarmalı ki bu da antinötrinodur. Antileptonun diğer özellikleri ,spin ve elektrik yük farkı ,benzer korunum yasalarından çıkarılabilir. Pauli 'nin varsayımı 1950'lerde antinötrinoların deneysel olarak bulunmasıyla doğrulanmış oldu.

Fizikçiler aynı yıllarda anti proton ve anti nötronu ,parçacık hızlandırıcılarında yapılan şiddetli çarpışmalar sonucunda ortaya çıkardılar. Bu çarpışmalar sırasında ,hızlandırılmış parçacıkların kinetik enerjileri Einstein 'ın ünlü $E=mc^2$ denklemine göre kütleye dönüşüyorlardı. Burada E ; çarpışan parçacıkların toplam enerjisidir. Eğer çarpışan protonlar yeterli enerjiye sahiplerse , baştaki protonlara ek olarak proton-antiproton çiftleri oluşturabilirler.

İlke olarak ,yüksek enerjili gama ışınları kendiliğinden bir parçacıkla onun antimaddesini meydana getirebilir. Bu süreç çift oluşturma (pair creation) olarak adlandırılır. Einstein denklemlerine göre ,bunun olabilmesi için gama ışınlarının en az $2mc^2$ kadar bir enerjiye sahip olması gerekir. Burada m ; parçacığın (ya da antiparçacığın) kütlesini temsil ediyor. Bu işlemin tersi yok olmalıdır.

Diğer taraftan ,gerçekte çift oluşumu ya da yok olması yalıtkan bir ortamda tek başına bir fotonun soğurulması veya açığa çıkmasıyla olmuyor.

Şekil 3'de elektron ve pozitron eşit fakat zıt momentumlara sahip ve sistemin toplam çizgisel momentumu sıfır. Fotonun momentumu E/c . Yani tek bir fotonun yok olması ya da yaratılması ,sıfırdan farklı bir momentum yaratacak ve bu da momentumun korunumu yasasına aykırı olacak. Genelde yok olma ,iki fotonun açığa çıkmasıyla sonuçlanır. Tek fotonla sonuçlanan olaylar ancak çekirdeğin ,geri tepme momentumu (recoil momentum) soğurmak için mevcut bulunması halinde meydana gelebilir.

Antimaddenin ilginç bir özelliği de 1965 yılında ,Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşan Amerikalı fizikçi Richard Feynman tarafından bulundu. Feynman ,antimaddenin zaman içinde geriye doğru hareket ettiğini gösterdi. Bir anti madde ,zaman içinde geriye doğru hareket ederken ,özellikleri önemli ölçüde tersine çevriliyordu. Örneğin bir elektron ,negatif yükü geçmişten geleceğe hareket ettiriyorsa ,geriye doğru olan elektronun onu gelecekte geçmişe hareket ettirmesi gerekir. Bu aslında artı yüklü bir parçacığın davranışıdır. Yani zaman içinde geriye doğru hareket eden bir elektron bize artı yüklü görünecektir. Feynman 'a göre bir pozitron ,zaman içinde geriye doğru hareket eden bir elektrondur. Dolayısıyla madde ve antimadde arasında zaman tersinmesi ilişkisi vardır.

Dirac ve Feynman 'ın antimadde tanımlarında ,anti parçacığın özellikleri ona karşılık gelen parçacıklar tarafından tıpkı bir maddenin aynadaki yansıma görüntüsünü belirlediği gibi belirlenir. Madde ve antimadde arasındaki bu ilişki simetri dönüşümüne (symmetry transfation) bir örnektir. Bir parçacık bir anti parçacığa yükünün işaretini ,spin ve kuantum sayılarını değiştirerek veya zamanı tersine çevirerek dönüşür. Teori ayrıca ,bir aynanın ,bizim hareketlerimizi yansıtması gibi ,anti parçacık reaksiyonlarını yansıttığını söylüyor.

Fakat şaşırtıcı bir şekilde ,deneylere göre bu her zaman doğru değil . yüksüz **kaon** adı verilen bir parçacığın bozunumu madde ile antimadde

arasında bir asimetri olduğunu gösteriyor. Bu da antimadde yansımada bozukluk olduğunu kanıtıyor. Bu ilginç sonuç ,kaonun geçmiş ile geleceği ayırt edebildiğini gösteriyor.(çünkü antimadde reaksiyonları ,zaman içinde geriye doğru hareket eden madde reaksiyonlarına denk geliyor.)

Antimadde nerede ?

Bize yakın galaksilerde çok az miktarda antimadde olduğu tahmin ediliyor. Bilimadamları bundan eminler çünkü madde ve antimadde çifti birbirlerini yok ederken yayınlanan gama ışınlarını saptayamıyorlar. Hızlandırıcılarda ve yüksek enerjili kozmik ışınlarla yaratılan antimadde parçacıkları dışında evren sanki yalnızca maddeden oluşuyor.

Belki antimadde galaksileri var ve bizden uzaklarda evrenin yalıtılmış bir yerindeler de o yüzden biz onları saptayamıyoruz. Aslında bunların diğer madde galaksilerinden bir farkı olmayacaktır , çünkü onlar da diğerleriyle aynı tür ışık yayacaklardır. Bunu en iyi kozmik ışınları dünya atmosferine (ki burada anti maddeler yok oluyor.) girmeden önce yakalamakla kanıtlamak kanıtlar. Çünkü bu şekilde diğer galaksilerden gelen antimadde çekirdeklerini fark edebiliriz. Uzaydaki ilk antimadde detektörü uluslararası “Alfa Uzay İstasyonu ” 2001 yılında devreye girecektir.

Diğer taraftan birçok fizikçi ,antimadde galaksilerinin olmadığını düşünüyor. Bu bir bakıma fizik için bir problem ,çünkü **Big Bang** üzerine mevcut kuramlara göre ,evren meydana geldiğinde madde ve antimadde eşit oranlarda idi. Daha sonra evren genişleyip soğuduğunda ,geriye şiddetli gama ışınımı fırtınaları bıraktılar. Bilim adamları bu fırtınaları 1963 yılında saptadılar. Ancak Büyük Patlama'dan buyana 15 milyar yıl süren genişleme sonucunda ,ışınım ,dalgaboyu değiştirerek tüm yönlerden üzerimize yansıyan mikrodalga fon ışınımına dönüşmüştür.

Eğer başlangıçta madde ve antimadde eşit miktarlarda ise neden birbirlerini tümüyle yok edip geriye sadece radyasyon bırakmadılar ? Antimaddeden neredeyse hiçbir şey kalmayıp da maddenin var olması bize daha önceden de bu ikili arasında nicelik olarak bir dengesizlik olabileceğini gösteriyor. Zaten kalan bu maddeden yıldız ve galaksiler oluşuyor.

Kimse bu dengesizliğin nasıl oluştuğunu çözemiyor. En çok kabul gören teoriye göre bilinmeyen bir nedenle Büyük Patlama 'dan sonraki sürecin ilk aşamasında *X-bozonları* denilen tuhaf parçacıklar antimadde yerine madde ile bozundular. Bu şaşırtıcı bir durum çünkü teori anti madde reaksiyonlarının her yönden madde reaksiyonlarının bir yansıması olduğunu ileri sürüyor. Diğer taraftan yüksüz kaon (kuark -antikuark çifti) adı verilen bir parçacıkla yapılan deneyler ,böyle bir şey olamayacağına ilişkin ipuçları veriyor. Eşit orandaki yüksüz kaon ve onların anti parçacıkları ,eşit olmayan oranlarda anti madde ve maddeye bozunuyorlar. Bu gösteriyor ki ,antimadde yansımasında bir yönde bozunum oluyor.

Bu belki de bizim var oluşumuzu borçlu olduğumuz ,evrendeki madde -antimadde asimetrisine bir anahtar olabilir.

Bir kara delik nasıl ışığa yapar ? (Hawking Radyasyonu)

Şimdi uzayın tamamen boşluk olmadığını biliyor. Her yerinde sürekli olarak parçacık çiftleri, foton-graviton çiftleri, hatta parçacık-karşı parçacık çiftleri yaratılır. Başlangıçta birlikte olan bu parçacık çiftleri daha sonra ayrılıp birbirinden uzaklaşır. Çok kısa bir süre sonra yeniden birbirine doğru yaklaşır ve birleşerek yok olurlar. Bu parçacıklar bir parçacık dedektörüyle saptayabileceğimiz türden gerçek parçacıklar değildir.

Enerji yoktan yaratılmadığı için parçacık-karşı parçacık çiftini oluşturanlardan birinin artı enerjiye, diğerinin de eksi enerjiye sahip olması gerekir. Eksi enerjili olanı kısa ömürlü bir sezilgen parçacık olmaya mahkumdur, çünkü normal koşullarda gerçek parçacıklar hep artı enerjilidirler. Bu yüzden ortağını arayıp ,onunla birleşerek yok olmak zorundadırlar.

Gerçek bir parçacığın enerjisi büyük kütleli bir cisme yakınken, aynı cisimden uzakta olduğundan daha azdır. Çünkü onu, cismin çekiminden kurtarıp uzak bir noktaya götürmek için ek enerji gerekir. Normal olarak parçacığın enerjisi hala pozitif kalır ama bir kara deliğin çekim alanı öyle kuvvetlidir ki ,uzak noktadaki bir gerçek parçacığın bile enerjisi ona göre eksi olabilir. Eksi enerjili sezilgen bir parçacığın, eğer bir kara delik varsa ,onun içine düşüp bir gerçek parçacığa dönüşmesi olanaklıdır. Sezilgen parçacık bu durumda ortağı ile birleşip yok olmak zorunda da değildir. Yüzüstü bırakılmış ortağı da benzer biçimde bir kara deliğin içine düşebilir. Ya da kara deliğin yakınından gerçek parçacık olarak veya karşı parçacık olarak kaçabilir. Uzaktan bakan bir gözlemciye göre bu, sanki kara delik parçacık yayınlıyormuş gibi gözükcektir.

Stephen Hawking, parçacık-karşı parçacık çiftlerinin bir kara deliğin olay ufkunun yakınlarında bol miktarda bulunacağını gösterdi. Üretilen bu sanal parçacık çiftlerinin tekrar birleşip, birbirlerini yok etmeden önce, kara deliğin içine doğru hareket etmeye başladıklarını düşünelim.

Negatif enerjili parçacık olay ufkunu geçer, pozitif enerjili olan ise hala olay ufkunun dışındadır. Pozitif enerjili bu parçacık da olay ufkunu geçip kara deliğin içine düşebilir. Ancak çiftini takip etme gibi bir zorunluluğu yoktur. Artık parçacık çift yaşamaktan kurtulmuştur, dolayısıyla olay ufkuna hiç girmeyip buradan uzaklaşabilir. Bu olay, bir gözlemciye sanki parçacık kara deliğin içinden geliyormuş gibi gözükür. Gerçekte ise parçacık, olay ufkunun tam dışından gelmiştir. Bu sırada,

parçacığın eşi olay ufkunu geçmiş olacak ve kara deliğe negatif enerji taşıyacaktır.

Kara deliğe negatif enerji taşındıkça, kara deliğin enerjisi ve (kütle enerji eşdeğerliğinden) kütlesi de azalır. Hiçbir şey olay ufkunun dışına çıkmadığı halde ! Kütle azaldıkça kara delik küçülecektir. Kara delik küçüldükçe, eksi enerjili parçacığın gerçek parçacık olmadan önce aldığı yol kısılacağı için, kara deliğin parçacık yayınlama hızı artar ve dolayısıyla ısısı da artar.

Evren yaratıldığında oluşmuş **erken kara delik** denilen minik kara deliklerin bahsedilen bu ışımayı yapıp çoktan yok olmuş olmaları gerekir. Fakat kütlesi biraz daha fazla olan kara delikler hala ışıyor olmalılar. Büyük kütleli kara delikler çok az ışımaya yaparlar. Çünkü kara deliğin olay ufkunun hemen dışında kalan eşin kurtulup bir gözlemciye ulaşma olasılığı çok düşüktür. Bu tür kara deliklerin sıcaklığı da çok düşüktür.

Işıyan bir mini kara deliğin kütlesi son derece küçüldüğünde ne olacağı ise pek açık değildir. Ama en akla yakın tahminle milyonlarca hidrojen bombasına eşdeğer korkunç bir patlamayla tamamen yok olacaktır.

KARA DELİKLERİN HANGİ ÖZELLİKLERİ ÖLÇÜLEBİLİR?

Göremediğimiz bir şeyi ölçebilir miyiz ?

Kaderi ile kucaklaşan yıldızımız ;kütlesi ,açısal momentumu ve elektrik yükünden başka hiçbir değeri olmayan bir şeye dönüşmüştür.(Bölüm 4 saçsızlık teorisi) Sadece bu üç bilgi ,yıldızın ilginç ve karmaşık özelliklerini tanımlamaya yetecektir ve yıldızın diğer tüm özellikleri ,sonsuz dek olay ufkunun içinde kalacaktır.

Bu değerleri nasıl ölçebiliriz ?

Gerçekte yıldız çökerken kütlelerinin bir kısmını çöküşün karmaşasına kaptırmıştır. Bununla birlikte ,olay ufku belirdikten sonra ,yıldızdan geriye kalan küte ,tekilliğin o muazzam yoğunluğuna sıkışmış kara delikte de aynen korunacaktır. Yıldız çökmeden önce ,etrafında herhangi bir yıldız , çöküşten sonra da aynı yörüngede dönmeye devam edecektir.

Eğer yıldızın sahip olduğu açısal momentumu biliyorsak ,büyük olasılıkla ,kara deliğin açısal momentumunu da biliyoruz demektir. Çünkü açısal momentum korunumlu bir niceliktir. Bununla birlikte açısal momentum çekimsel çöküş sırasında başka bir nesneye kısmen taşınmış olabilir.

Yıldızın sahip olduğu yüke gelince ;büyük bir olasılıkla aynı miktarda negatif ve pozitif yüke sahip olup çökerken ,bu yükler birbirini nötrleyecek ve geriye sifıra yakın miktarda yüke sahip bir kara delik kalacaktır.

Yıldız hakkında diğer bazı bilgileri ,örneğin yıldızın kimyasal içeriği gibi şeyleri ölçemeyeceğimizden emin olabilir miyiz? Hayır olamayız. Hiçbir kara delik, doğduğu yıldızın bir zamanlar sahip olduğu diğer herhangi bir bilgiyi tekrar açığa çıkartmayacaktır . Perde yıldızın üzerine açılmamak üzere inmiş ve diğer tüm ipuçları veya izler sonsuza dek kaybolmuştur.

Bir an için ,kara delik olana dek yıldıza ilişkin hiçbir bilginin olmadığını düşünelim. Bu durumda kara deliğin hangi özelliklerini ,nasıl ölçebiliriz?

KÜTLE ,BOYUT ve DÖNME HIZI

Bir kara deliğin kütlesini ölçmenin bir yolu ,yakınındaki nesnelere yaptığı etkiyi gözlemektir. Eğer bir gezegenin uzaklığını ve hızını biliyorsak ,güneş kütlesini kolaylıkla hesaplayabiliriz. Aynı şekilde ,kara deliğin etrafında bir yörüngede dönen cisimleri izleyerek bir kara deliğin kütlesini belirleyebiliriz.

Olay ufku ışığın kaçamadığı sınır bölgedir. O zaman bir uydunun bir gezegenden kaçış hızını bulurken kullandığımız yöntemle ;
Vkaçış=Cıçık hızı olmak üzere

$$mV_k^2/2=GmM_{\text{kara delik}}/R$$

$$RC^2=GM_{\text{kara delik}}$$

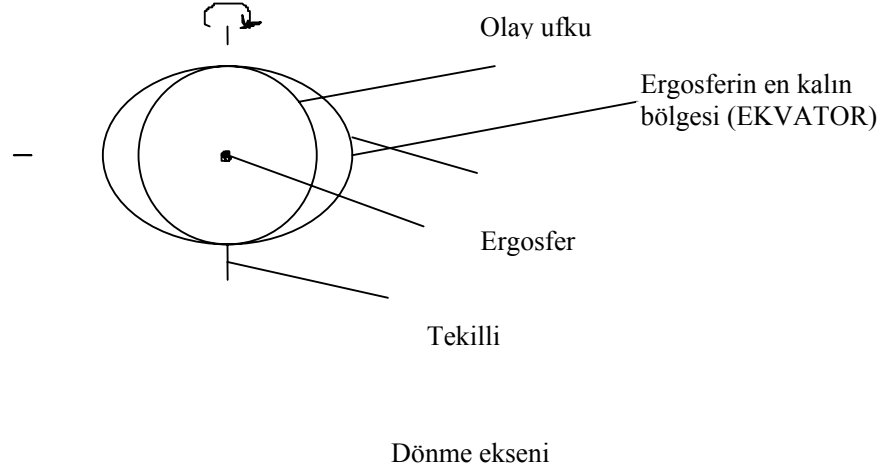
Görüldüğü gibi olay ufkunun boyutu olan R (olay ufkunun yarı çapı) ,kara deliğin kütlesiyle doğru orantılı. Yani kara deliğin kütlesi biliniyorsa büyüklüğü için tahminde bulunulabilir.

Kütle ve boyutu saptamanın başka bir yolu da ,kara deliğin yarattığı mercekleme etkisini incelemektir.”Arka plandaki uzay ne kadar ve hangi yönde etkilenmiştir.”

Var olan bir kara deliğin açısal momentumunu ve dönüş hızını ölçmek için ise ,bir dizi deney cismi gönderip (veya halihazırda kara deliğin etrafında dönen maddeleri inceleyip) ,cisimlerin delik ile birlikte hangi uzaklıkta mutlak suretle dönmeye başladığını bulmak gerekir. Bu bize ERGOSFER’ in nerede başladığını açıklayacaktır.

Ergosfer : kendi etrafında dönen bir kara deliğin etrafında ,sürüklenme etkisinin dayanılmaz olduğu bölgedir. Bu sınır içerisinde hiçbir cisim hareketsiz kalamaz. Kara deliğin dönme yönünde sürüklenir.

Ergosferin boyutlarından dönüş hızını belirleyebiliriz. Sadece dönen kara delikler bir ergosfere sahiptir. Dönüş yoksa ergosfer de olmayacaktır. Dönüş hızı ne kadar yüksekse ergosfer de aynı oranda büyük olacaktır.



Tüm kara delikler evrende iki temel biçimde bulunurlar ,küresel veya biraz eliptik...

ENTROPİ VE SICAKLIK

Entropinin bir anlamı da “kullanılmayan bilgi” demektir. Bir kara delik ardında bilgiyi gizler. Kara delik; kendisinden doğduğu yıldızın tüm bilgisini hacimsiz bir kütleyle ,dönüş hızına ve yüke dönüştürür. Kara deliğin içine giren herhangi bir şey ,kaybolan bu bilgi hazinesine bir şeyler ekler. Ayrıca ,kara deliğin kütesine ve olay ufkunun alanına da katkıda bulunur. Dördüncü bölümde de anlatıldığı gibi olay ufkunun alanı ,kara deliğin entropisinin bir ölçüsü olup ,olay ufkunun alanını ölçmekle entropiyi ölçmek aynı anlama gelir.

Kara delikler daha önce de anlatıldığı gibi ışımaya yaparlar ,bu durum bir sıcaklığa sahip olduklarını gösterir.

Bir kara deliğın içine termometre sokamayız. Hatırlatmak gerekir ki ,bir kara deliğın sıcaklığından bahsettiğimizde aslında onun olay ufkundaki sıcaklıktan bahsediyoruz. Bu kara deliğın çevresine ışıyarak yayması gereken enerji miktarına denk düşer.

Dördüncü bölümde anlatıldığı gibi (Hawking radyasyonunun oluşmasındaki mekanizma) bir kara deliğın olay ufkunun alanı ne kadar küçükse sıcaklığı o denli düşüktür.

Kütlesi güneşten birkaç kez büyük bir kara deliğın sıcaklığı mutlak sıfırdan ancak bir derecenin on milyonda biri kadar fazladır. Bu ,evreni dolduran mikrodalga ışımından daha düşüktür. (mutlak sıfırın yaklaşık 2.7 derece üstü). Bu yüzden böyle kara delikler soğurdıklarından daha az yayınlırlar. Eğer evrenin yazgısı sonsuza değın genişlemekse mikrodalga ışıma ısı sonunda böyle bir kara deliğınkinin de altına düşecek ve o zaman kara delik kütle yitirmeye başlayacaktır. Ama o zaman bile ,ısı o denli düşük olacaktır ki ,tamamen yok olması on üzeri atmış yıl sürecektir. Bu evrenin on ya da yirmi milyar yıl olduğu tahmin edilen yaşından çok daha fazladır. Diğer yandan “erken kara delik” denilen ve evrenin çok erken evresindeki karmaşada oluşmuş daha küçük kütleli kara delikler bulunabilir. Böyle kara deliklerin sıcaklıklarının çok daha yüksek olması ve daha yüksek bir hızla ışımaları gerekir. İlk kütlesi bir milyar ton olan böyle bir erken kara deliğın yaşam süresi ,yaklaşık evreninkine eşittir. Daha az kütleyle sahip erken kara deliklerin şimdiye kadar çoktan yok olmuş olmaları gerekirdi. Ama kütlesi bundan biraz daha fazla olanlar hala röntgen ya da gamma ışınları gibi ışıma yayıyor olmalıydılar. Böyle kara deliklere “kara” demek yanlış olur. Aslında bembeyaz olup ,on bin megavatlık bir güçle enerji yaymaktadırlar.

KARA DELİKLERİN VARLIĞI

Kara delikler gözlemlerle doğruluğu tanıtılmadan önce bir matematiksel model olarak ayrıntılı bir kuramın geliştirildiği, bilim tarihinde sayılı bir iki olaydan biridir. Gerçekten de bu, kara deliklere karşı çıkanların başlıca savı olmuştur. Kanıtı yalnızca genel Görecelik kuramına dayalı hesaplar olan nesnelere nasıl olur da inanılabilirdi ? Bu gün kara deliklerin varlığına kesin gözle bakıyoruz. Kara deliklerin varlığını gösteren birçok somut kanıt var.

1967'de Cambridge'de araştırma öğrencisi olan Jocelyn Bell ' in gökyüzünde düzenli radyo dalgası darbeleri yayınlayan nesnelere bulmasıyla, kara deliklerin varlığını ile ilgili ilk umutlar uyandı. Önce Bell ve denetçisi Antony Hewish yıldız kümesindeki yabancı bir uygarlıkla iletişim kurmuş olabileceklerini sandılar! Gerçekten de buluşlarını açıkladıkları seminerde, buldukları ilk dört kaynağa LGM 1-4 (Little Green Men 1-4) adlarını koydular.

Sonra anlaşıldı ki bu sinyallere Pulsar adı verilen nesnelere neden oluyordu. Pulsarlar ;manyetik alanlar ve kendilerini çevreleyen maddeler arasındaki karmaşık etkileşimden dolayı radyo dalgası darbeleri yayınlayan döner nötron yıldızlarıydı. Nötron yıldızlarının varlığı kara deliklerin varlığına ilişkin en büyük delildir. Nötron yıldızının yarıçapı sadece 30 km kadardır, yani yıldızın kara delik durumuna geldiği çapın yalnızca birkaç katıdır. Yıldız büzülerek bu denli küçülebilmişse, yakıtını tüketmiş başka yıldızların daha da küçülüp kara delik olacaklarını beklemek pek de mantıksız olmazdı.

KÖMÜRLÜKTE KARA KEDİ ARAMAK

Tanımı gereği hiçbir ışık yaymayan bir cisim nasıl ayırt edebiliriz ? John Michel'in 1783'deki öncü makalesinde işaret ettiği gibi, kara delik,

yakınındaki nesnelere çekim kuvveti uygulamayı sürdürür. Gökbilimciler, iki yıldızın kütle çekimiyle birbiri etrafında döndüğü pek çok sistem gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, görünmez bir arkadaşın etrafında dönen tek bir görünür yıldızın oluşturduğu sistemler de gözlemlenmiştir. Elbette bundan hemen bu arkadaşın bir kara delik olduğu sonucuna varılmaz, belki de görülemeyecek kadar sönük bir yıldızdır. Ancak bu sistemlerden bazısı, Cygnus X-1 gibi, aynı zamanda, şiddetli X ışını kaynağıdır. Bu durumun en iyi açıklaması, bir miktar maddenin görünen yıldızın yüzeyinden saçıldığıdır. Bu madde sarmal bir devinim ile görülmeyen arkadaşına doğru ilerlerken çok ısınarak Röntgen ışınları yayınlar. Bu mekanizmanın işlemesi için görülmeyen nesne bir beyaz cüce, nötron yıldızı ya da kara delik gibi küçük olmalıdır. Görünen yıldızın gözlemlenen yörüngesinden, görülmeyen nesnenin, kütlelerinin olanaklı alt sınırı belirlenebilir. Cygnus X-1 örneğinde bu, güneş kütlelerinin yaklaşık altı katıdır ki Chandrasekhar'ın sonuçlarına göre, görülmeyen nesnenin beyaz cüce olabilmesi için çok fazladır, nötron yıldızı olabilmesi için bile çok fazladır. Şu halde kara delikten başka bir şey olamaz. Cygnus X-1'i kara deliksiz açıklayan başka modeller de var ama bunların tümü de fazla zorlamaya dayanıyor.

Galaksimizde, çiftlerden birinin görünmez olduğu bu tür ikili sistemlerden çok sayıda vardır. Bu tür sistemlerde görülmeyen eşin kütlesi şu methodla bulunabilir, ikili sistemden bize gelen ışığın dalga boyları, belli bir değer etrafında salınım yapar. Yıldız yörüngesinde bize doğru gelirken, ışığın dalga boyu, Doppler etkisinden dolayı kısalır, bizden uzaklaşırken ise uzar. Aradaki fark azdır ama yine de ölçülebilir. Bu, bize sistemin kütlesi hakkında bilgi verir. Bir diğer yardımcı unsur ise, sistemden gelen ışığın parlaklığındaki azalmalar ve artmalardır. Bunun nedeni, ikili yıldızdan tekinin düzenli aralıklarla diğerinin önüne geçmesi ve ışığına engel olmasıdır. Bu değişimleri inceleyip, sistemin büyüklüğünü ve izlediği yörüngeleri de bulursak, çift yıldızdan her birinin (birini gözlemleyemesek bile) kütlelerini hesaplayabiliriz.

Cygnus X-1 (kuğu kuşu) dünyamızdan yaklaşık 7000 ışık yılı uzakta olup görünen yıldız ise bir “mavi dev” dir. Doppler etkisi bu mavi devin görünmeyen bir eşinin bulunduğunu ve bu iki yıldızın yörüngelerindeki dönüşlerini 5-6 günde tamamladıklarını göstermektedir. Sistem, 20 milyon kilometre çapındadır. Sistemin yörüngesini uzunluk ve periyot bilgilerini kullanarak, görünmeyen yıldızın kütlesi hesaplanabilir.

Cygnus X-1 sistemindeki gibi, yıldız kümelerimizde ve Magellan Bulutları adı verilen iki komşu yıldız kümesinde, birçok kara delik daha bulunduğu konusunda inanışlarımız var. Ancak kara delik sayısı şüphesiz çok daha fazla olmalıdır. Evrenin uzun geçmişinde çok sayıda yıldız çekirdek yakıtını tüketip çökmek durumunda kalmış olmalı, hatta kara deliklerin sayısı, yalnızca bizim yıldız kümelerimizde yaklaşık yüz milyon olan yıldızların sayısından daha fazla olabilir.

Evreni incelediğimizde, evrende bu günkü teknolojiyle belirleyebildiğimizde çok daha fazla madde olduğu sonucuna varırız. Evrendeki maddelerin yüzde doksan ile yüzde doksan dokuzu arasındaki oranının, herhangi bir dalga boyunda ışınım yapmadığı ve dolayısıyla gözlemlenemediği düşünülüyor. Şu anda sahip olduğumuz aletlerin herhangi biriyle gözlenebilmeleri söz konusu değil. Peki göremediğimiz halde varlıklarından nasıl bu kadar emin olabiliyoruz? Eminiz çünkü “karanlık madde” dediğimiz bu maddelerin kütle çekim kuvvetlerini saptıyoruz.

Yıldızların, Samanyolu galaksimizde hareket etme şeklini ele alalım. Güneşimiz dahil, hepsi, galaksinin çekirdeği etrafında bir yörüngede hareket eder. Herhangi bir yörüngesel sistemde, güneş sistemimiz gibi, merkezden uzak cisimlerin, merkeze daha yakın cisimlere göre daha yavaş bir şekilde hareket ettiğini teorik olarak biliriz. Bu galaksideki

yıldızlar için de doğru olmalıdır. Ama değildir. Kütle çekim kuvvetine ilişkin bildiklerimiz de bunun böyle olması gerektiğini söylemektedir.

Tek olası açıklama galaksimizde teleskopumuza takılandan çok daha fazlasının bulunduğudır. Galaksinin o şişkin çekirdeğinin etrafında dönen spiral kolların dönüş hızındaki anormalliği yok etmesi için gözlenemeyen kütle, gözlenenden çok çok fazla olmalıdır. Peki bu anormalliği yok edip, yıldızların galaksinin çekirdeği etrafındaki yörüngelerinde teorik olarak olması gereken hızda dönmesini sağlamak için ne yapılmalı ?

Eğer ;

- 1) Galaksi çekirdeği ve diskinin dışarısında, büyük miktarda kütle varsa,
- 2) Bu kütle disk ile aynı seviyede olmayıp, galaksinin dışında her yere dağılmışsa, yıldız yörüngeleri gözlemlendiği şekliyle doğru olurdu.

Galaksilerin spiral şekli de başlı başına bir bilmece olarak karşımıza çıkıyor. Galaksi oluşumlarını simule eden bilgisayarlarla, görebildiğimiz maddenin ötesinde olan görünmeyen maddeleri hesaba katmadan bir spiral-disk galaksi oluşturulamıyor. Spiral formasyon sadece galaksi etrafında dağılmış olması gereken karanlık madde ile açıklanabiliyor.

Radyo astronomisi yardımıyla, soğuk hidrojen bulutlarının galaksilerin birçoğunun sınırlarından da öteye taşıdığı gözlemlendi. Peki bu hidrojen bulutları yukarıda bahsedilen sorunu çözüyor mu? Başka bir deyişle karanlık madde alternatifini dışlıyor mu? Hayır tam aksine bu gözlem, sorulara bir yenisini eklemekten başka bir şey yapmıyor. Galaksinin dış sınırında bulunan gaz, galaktik çekirdeğin, gazın kütlesini şu anda sahip olduğu kütle ile tutamayacağı kadar hızlı hareket ediyor. Optik veya radyo teleskopları ile gözlemlediğimiz hiçbir şey, gazın neden uzaya yayılmadığını açıklayamıyor. Tek olasılık, galaksiyi gördüğünden çok daha kütleli yapan görünmeyen maddeler. Böylece, galaksi dış

sınırında hızla hareket eden gazları, oluşturabileceği dev kütle çekimi ile bir arada tutabilecek.

Kutupsal halka galaksilerinde, merkezde küre şeklinde dizilmiş yıldızlar vardır. Bu yıldızlardan oluşan kürenin çevresini halka şeklinde dizilmiş yıldızlar çevreler. Bilinen hiçbir fizik kuralı, yıldız halkasının olduğu yerde nasıl durduğunu ve merkezdeki yıldız küresi tarafından nasıl olup da içeri çekilmediğini, halkanın dışında dengeleyici bir kütle olmaksızın açıklayamaz.

Yakın zamanda bulunan kanıtların bir kısmı ise, uzaktaki yıldızlardan gelen ışığın bükülmesiyle ilgili . Işık , kütleli nesnelere uzay-zamanı bükmesinden ötürü bükülür. Bükücü, tek bir cisim veya bütün bir galaksi de olabilir. Bükücü galaksilerin sahip oldukları kütle ile orantılı bükme gücüne bakarsak gözükten kütlelerin bükme miktarının, bükülen ışığın çok aşağısında kaldığı görülür.

MESSIER 87 (M87)

M87 dünyaya 50 milyon ışık yılı uzakta yer alan dev bir gökadadır. Başak ve Aslan takım yıldızlarının arasında bulunan bu gök ada, ilk defa Fransız kuyruklu yıldız avcısı Charles Messier tarafından fark edilmişti. Charles Messier, gözlem defterine düştüğü notta gökada, için “içinde yıldız olmayan bir bulutsu” diyordu. Oysa Messier’in yıldızsız bulutsu sandığı şey, en az birkaç yüz milyar yıldızdan oluşmuş dev bir sistemdi. Messier bu cisim kataloğuna 87 numara ile kaydederken düşüncesi bu gökcisminin bir kuyruklu yıldızla karıştırılmamasıydı.

Teleskop teknolojisindeki gelişmeler sonucunda aynı çok daha kaliteli araçlarla gözleendiğinde Messier’in yıldızsız bulutu farklı bir kimlik kazandı. M87, sanıldığı gibi bir bulut değil, tam aksine uzak bir yıldız topluluğuydu. 50 milyon ışık yılı uzakta olması, M87 ‘de yer alan yıldızların

ayırt edilmesini olanaksız kılıyordu. Gökadanın uzaklığı, tayftaki kırmızıya kayma ve bize her biri birer nokta gibi görünen küresel kümelerin incelenmesi yoluyla anlaşıldı. Gökadanın uzaklaşma hızı, saniyede 1180 km idi ve ünlü kozmolog Edwin Hubble'ın hesaplarına göre 50 milyon ışık yılı uzaklığa karşılık geliyordu.

Hubble uzay teleskopuna dek dünyadan gözlem yapan en büyük teleskoplar bile M87'de iki önemli ayrıntı dışında bir şey gözlemleyememişlerdir. İlk ayrıntı gökadanın ekvator bölgesini sarmalayan karanlık banttı. Bu bantın, tıpkı Samanyolu'nun Kuğu bölgesinde olduğu gibi henüz yıldız olmamış soğuk, karanlık bir bulutsu olduğu anlaşıldı. İkinci önemli ayrıntı ise 1950'de radyo gözlemleri sonucu fark edilen püskürmeydi. Bu jet püskürmesi, halen ciddi bir tartışma konusu olarak gökada uzmanlarının aklını karıştırıyor. M87 gibi devasa kütledeki bir yapı, yakın çevresindeki her şeyi karşı konulmaz bir güçle kendine doğru çeker. Büyük gözlemlerinin aldığı fotoğraflarda görülebilen püskürme, bir mekanizmanın, bu çekim kuvvetini yenmesi ile gerçekleşebilir. Şu anda karşımızdaki soru, bu maddeyi neyin nasıl püskürttüğünü bulmaktır. Bu konuda en büyük umudumuz Hubble uzay teleskopunun 2 metrelik aynası.

M87'nin çekirdeğinde bir kara deliğin olduğu, bir süredir astronomların dilinde dolaşıyordu. Fakat kimse elinde güvenilir bir kanıt olmadığından bu konuda kesin bir şeyler söyleyemiyordu. 50 milyon ışık yılı uzaklık ve gökadayı çevreleyen karanlık bant pek çok önemli ayrıntının görülmesini engellediğinden astronomların sessizliğini doğal karşılamak gerekirdi. Bilimsel bir sonuç için ciddi bir kanıtlar gerekirdi. İşte bu kanıtlar 1994 yılında Hubble Uzay Teleskopundan geldi.

Hubble uzay teleskopu 27 şubat 1994 akşamı geniş açılı gezegen gözlem kamerasıyla M87'nin merkeze yakın bir yerde gaz bulutu fark etti. Gözlemcilerden Holland Ford , henüz neyle karşı karşıya olduğunun

farkına varmamıştı ve eliptik bir gökadada böyle sarmal bir şekli görmenin hiç beklenmedik bir şey olduğunu söylüyordu. Oysa aynı bulutu sönük cisim spektrografı ile incelediğinde onu ve gözlem ekibini bir sürpriz bekliyordu.

Hubble bir gaz bulutunun hareketini inceledi. Bulutun farklı noktalarından aldığı veriler yardımıyla görülmeyen bir nesnenin bulutu çekim etkisi altına aldığı ve etrafında döndürdüğünü keşfetti. Gaz bulutu, çoğunlukla hidrojen içeriyordu ve sıcaklığı 10 000 C civarındaydı. Şekli ise sarmal bir diskti. Hubble, diskin farklı noktalarının tayfını alarak bu verileri dünyaya yolladı . tayfı inceleyen Ford ve ekibi Doppler olayının izlerine rastladı. Eğer bir yıldızın tayfındaki çizgiler kırmızıya kayıyorsa uzaklaşıyor, maviye kayıyorsa yaklaşıyor demektir. Kaymanın oranı da bize hızı verir. Hubble, M87'deki gaz bulutunun merkezden 60 ışık yılı uzaktaki bir kısmının tayfında kırmızıya kayma tespit ederek bu bölgenin bizden uzaklaştığını belirledi. Gaz diskinin tam aksi yönündeki bölge ise maviye kayma gösteriyordu, yani bize doğru geliyordu. Asıl ilginç yaklaşan ve uzaklaşan bölgelerin hızlarıydı. Hubble, gaz bulutunun uzaklaşan kısmının hızını saniyede 550 km olarak tespit etti. Yaklaşan kısmın hızı da aynıydı. Bu verinin tek bir sonucu vardı ;o da gaz bulutunun bir şeyin etrafında döndüğü gerçeği idi. Peki bulutun etrafında döndüğü “şey” neydi ?

Gözlem ekibinde yer alan Richard Harms, Newton Fiziği'nin bilgileri ışığında bulutu neyin döndürdüğünü bulmayı önerdi. Sonuçta buldukları gerçek bir kara delikti. Üstelik öyle bir kara delikti ki kütlesi güneşinkinin üç milyar misli idi. Bu kütle yaklaşık güneş sistemi kadar bir hacim içine sıkışmıştı. Karşı karşıya oldukları şey sıradan bir kara delik değil “süper kütleli “ bir kara delikti. Bir diğer tanımla bizim gökadamız Samanyolu'nun onda biri kadar bir kütle, dokuz çarpı on üzeri 29 kilometre küp gibi kozmik ölçülerde küçük ufak bir hacme sıkışmıştı. Etrafındaki bulutun bu kütleden

kaçması olanaksızdı ve kara delik çevresinde dönerek sahip olduğu merkezci kuvvetle kara deliğin içine düşmekten kurtuluyordu.

Özetle Hubble, kara deliğin kendisini görmedi, kara deliğin çekim etkisine kapılmış bir gaz bulutunun varlığını tespit etti ve “bulutu bu şekilde hareket ettiren şey ne olabilir ?” sorusunun cevabı olarak karşımıza bir kara delik çıktı. Bu kara deliğin keşfi astronomlara yeni bir heyecan getirdi, çünkü M87 gibi merkezinde kara delik olma olasılığı bulunan başka gökadalarda da bulunuyor. Bunlar içinde en büyük adaylardan biri, Büyükayı takım yıldızında bulunan M82 gökadası. Güçlü bir radyo kaynağı olan bu gökadanın merkezinden her yana doğru M87’dekine benzer büyük oranda madde püskürmesi gözlemlendi. Bu püskürme M87 ‘dekinden çok daha belirgin ve şiddetli. Bu nedenle M82’ye Patlayan Gökada ismi verildi.

Yıldız kümelerinin özeğinde, kütlesi güneşimizinkinin yaklaşık yüz bin katı olan çok büyük bir kara delik bulunduğuna ilişkin elimizde bazı kanıtlar var. Kümedeki yıldızlardan bu kara deliğe fazla yaklaşanlar, uzak ve yakın bölümleri arasındaki kütle çekim kuvvetlerinin farkından dolayı parçalanacaklardır. Bunların kalıntıları ve öteki yıldızlardan atılan gazlar kara deliğe doğru düşeceklerdir. Cygnus X-1 ‘de olduğu gibi, gaz, bir sarmal botunca ilerlerken ısınacaktır, ama o örnektekinden daha az. Röntgen ışınları yayınlayacak kadar sıcak olmasa da kümenin özeğinden geldiği gözlemlenen çok yoğun radyo dalgaları ve kızıl ötesi ışınlar kaynağının nedenini açıklayabilir.

Uzayda ne kadar uzağa bakıyorsa o kadar geçmişe bakıyoruz demektir. Bu günkü teknolojiyle gözlemleyebildiğimiz evrenin hem mesafe hem de zaman olarak en uzak bölgelerinden yola çıkmış olan ışık, şimdi bize radyo spektrumu içinde zayıf bir ışımaya olarak ulaşmaktadır. Bu ışımaya, 10 ila 20 milyar yıl önceki ilk evrenin kor halindeki süper yoğun maddelerinden gelen, kızıl bir ışıktır.

Uzay-zamanda gözlemediğimiz en uzak gök cisimlerinden biri de kuasarlardır. Şu ana kadar, bize yakın hiçbir kuasar bulunamadı. Kuasarlar, inanılmaz derecede uzak ve yaşlı yıldızlar olarak bize uzay-zamanın ilk başlangıcından ışıklar. Princeton ve California Teknoloji Enstitüsündeki astronomlar, 1989 sonbaharında, bir kuasar olan "PC1158=4635"i keşfettiler. Bu kuasarların gönderdiği, ışık dalgalarındaki kırmızıya kayma, o kadar yüksekti ki , yıldız, evren bir yaşındayken oluşmuş olmalıydı.

Teleskoplarımız ;kuasarların şiddeti devamlı değişen, son derece parlak nesnelere olduğunu söylüyor. Karşımızda duran her neyse, gönderdiği ışıkta korkunç bir kırmızıya kayma var. Ayrıca bu isimlerin boyutları kozmik ölçülere göre çok ufak.

California Teknoloji Enstitüsü astronomları Alan Sandage, Thomas Matthews ve Marten Schmit, bu tür nesnelere üzerinde ilk çalışmayı yaptılar ve gördükleri bu şeyin aslında olmadığı kuşkusunu ortaya attılar. Nesnelere kırmızıya kaymasının nedeni bir kütle çekim alanı olsaydı, bu nesnelere çok büyük kütleli ve güneş sistemimizin gezegenlerinin yörüngelerini alt üst edecek kadar bize yakın olması gerekirdi.

Kırmızıya kayma için yapılan diğer açıklama da aynı ölçüde akla aykırı görünüyordu. Evren genişlerken, galaksilerin ve galaksi kümelerinin birbirlerinden uzaklaştıklarını biliyoruz. Galaksiler bizden ne kadar uzaktalarsa, bize göre o kadar hızlı hareket ederler. Uzaklaşan nesnelere yayınladığı ışıkların dalga boyları, uzaklaşma hızlarıyla orantılı olarak uzayacaktır. Astronomların buldukları gibi bir kırmızıya kaymaya neden olmaları için, gizemli nesnelere bir kısmının, bizden ışık hızına yakın bir hızla uzaklaşmaları gerekirdi. Bu onların aslında çok uzak oldukları anlamına geliyordu.

Peki , bizden bu kadar uzak bir nesnenin yaydığı ışık bize erişebilir mi ?Yoksa nesne çok mu büyük ? Bunun cevabını nasıl verebiliriz ?

Kuasarlar, bu kadar uzaktan görülebilmeleri için ancak uzayda şu ana kadar karşılaşılan en parlak nesnelere daha parlak ve hatta yüzlerce sıradan galaksinin toplam parlaklığında olmalıdır. Bu kadar parlaklığı sağlayabilmek için çok büyük bir enerji kaynağına sahip olmalı. Bu kadar küçük bir şey, bu kadar muazzam bir enerjiyi nasıl üretebilir ?

Kuasarların özeğinde de kütleleri güneşinkinin yaklaşık yüz milyon katı olan benzeri ama daha büyük kara deliklerin bulunduğu düşünülmektedir. Ancak bu korkunç kütleli kara deliklere düşen madde, bu cisimlerin yaydığı müthiş enerji miktarını açıklayabilecek ölçüde güç kaynağı sağlayabilir. Madde kara deliğe spiral bir devinimle yaklaşırken onu da aynı yönde döndürür ve dünyadaki gibi bir manyetik alan oluşmasına neden olur. Yıldızlardan kopartılan madde, kara deliğin içine düşerken, ısınan bir yığılma diski oluşturacaktır. Parçacıklar olay ufkundan geçmeden önce, enerjileri oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Manyetik alan o denli kuvvetlidir ki, yığılma diskindeki henüz kara deliğin içine düşmemiş yüksek enerjili bu parçacıkları, kara deliğin dönme eksenine doğrultusunda, yani kuzey-güney kutuplarından dışarı doğru fıskırtmalarda odaklaştırır. Bu fıskırtmalar gerçekten de birçok yıldız kümesinde ve kuasarlarda gözlenmiştir.

Bilim adamlarına göre evrendeki galaksilerin tümü (kuasarlar da dahil), çekirdeklerinde bir kara delik beslemektedirler.

UZAY-ZAMAN

Hacmi olan bir nesneyi tanımlamak için üç boyutlu uzay yeterlidir. Fakat cisim hareket ediyorsa (yani zamanla konumu değişiyorsa) bu üç

boyutlu uzay yetersiz kalır. Bir de zaman değişkeni gelir. Bu takdirde cisimler üç değil dört boyutta hareket ederler.

İki tür zamandan söz edilebilir. Birinci tür zaman “asimetrik ” zamandır. Asimetrik zamanda olaylar tersine dönüştürülemez buna fizik diliyle irreversible denir. Sebepler daima geçmişte ,sonuçlar daima gelecektir. Önce iğne batar sonra acı duyulur ,önce taş atılır sonra cam kırılır. Asimetrik zaman oku daima geçmişten geleceğe doğrudur.

İkinci tür zaman “simetrik” zamandır. Sarkaç örneği simetrik zamanı en iyi temsil eden örnektir. Sebep ve sonuç birbirine karışmıştır. (filmi tersinden de oynatsak aynı) zamanın ileri-geri akışı fark etmez.

Acaba zaman hangi hızla akmaktadır ?

Zamanın ,uzayın değişik bölgelerinde değişik hızlarla aktığı yani saatlerin iki ayrı noktada ayrı zamanları göstereceği bir gerçektir. Zaman dünyamızda belli bir hızla akarken ,kütlesi dünyamızinkinden daha büyük bir gezegen (veya yıldızda) örneğin güneş yüzeyinde daha yavaş akıyor. Bu nasıl oluyor ? zaman hiç değişir mi? Üstelik bu değişim sadece kütleye değil hıza da bağlı. Bütün bu karmaşık ve akılları karıştıran bu soruları tüm zamanların en büyük bilimcisi kabul edilen Albert Einstein ortaya attı.

Einstein uzay ve zamanı basitçe şöyle tanımladı ; uzay bir ölçü çubuğuyla ölçtüğümüz şeydir ,zaman ise bir saat ile ölçtüğümüz şeydir. Bu tanımlarla silahlanmış olan Einstein ,birbirine kıyasla değişmeyen hızla hareket eden iki gözlemci arasında uzay ve zamanın ölçümlerinin nasıl değiştiğini sordu. Bir gözlemcinin ölçüm çubuğu ve saati ile bir istasyon platformunda olduğunu varsayalım. Trendeki kişi vagonun penceresinin boyunu ölçsün ,aynı şekilde platformdaki kişi tren yanından geçerken aynı pencerenin boyunu ölçsün. İki gözlemcinin ölçümlerinin aynı sonucu vermesini bekleriz. Fakat Einstein'ın ölçüm sürecini dikkatle analiz ederek

gösterdiği gibi bu yanlıştır. Hareket eden pencerenin uzunluğu konusunda bilgi getiren ışık ,platformda duran kişiye iletilmiş olmalıdır. Aksi halde ölçüm mümkün değildir. İki ölçümün kıyaslanması konusunda ışığın özellikleri karışmıştır. Bu nedenle önce ışığın ne yaptığını incelemeliyiz.

Işığın hızı mutlak hız olup hiçbir gözlem çerçevesine göre değişmez ve evrendeki hız limitidir. Işığın hızının değişmezliği varsayımı özel görecelik teorisinin ikinci önermesidir. İlk önerme mutlak ve tek biçimli hareketi belirlemenin olanaksız olduğu idi. Tek biçimli hareket göreceli bir kavramdır. Ancak başka bir şeye göre hareket ettiğimizi söyleyebiliriz. Bu iki önermeden ışığın hızının değişmezliği ve hareketin göreceli oluşundan ,özel görecelik teorisinin tüm mantıksal yapısı çıkmıştır.

Hem Aristo hem de Newton mutlak zamanı kabul etmişlerdi. Yani iki olay arasındaki zaman aralığının kesin olarak ölçülebileceğine ve iyi saatler kullanıldıkça ,her kim ölçerse ölçsün bu zamanı aynı bulacağına inanıyorlardı.

Işığın sonlu ama çok büyük bir hızla gittiği ilk olarak 1676 yılında Danimarkalı gökbilimci Ole Christensen Roemer tarafından bulundu. Uydularının Jüpiter'in gölgesinde kalması olaylarının düzensiz olduğunu gözlemledi. Demek ki uydular sabit bir hızla dönmüyorlardı. Dünya ve Jüpiter ,güneş etrafında yörüngelerini çizerken aralarındaki uzaklık değişir. Roemer Jüpiter'in uydu tutulmalarının biz Jüpiter'den uzaktayken daha uzun sürdüğünü fark etti. Bunu ,uydular bizden uzaklaştıkça ışıklarının bize erişebilmesinin daha uzun zaman almasına bağladı. Ancak Jüpiter' in dünyadan uzaklığındaki değişimleri ölçerken yaptığı hatalar sonucu ,bugün saniyede yaklaşık 300 000 km olarak bulduğumuz ışık hızını saniyede 250 000 km olarak hesaplayabildi. Bu hataya rağmen Roemer'in ışığın sonlu hızla gittiğini kanıtlamakla kalmayıp bu hızı ölçerek elde ettiği başarı olağan üstüydü bunu Newton 'un "Matematiğin İlkeleri"

adlı kitabının yayınlanmasından on yıl önce sağlamış olduğu göz önüne alınırsa...

Işığın yayılmasını açıklayan yerinde bir kuram ancak 1865'de Britanyalı fizikçi James Clerk Maxwell'in o güne kadar elektrik ve manyetik kuvvetleri tanımlayan parça parça kuramları birleştirmeyi başararak ortaya çıktı. Maxwell denklemlerine göre bileşik elektromanyetik alanda dalgaya benzer çarpıntılar olabilir ve bunlar durgun suda yayılan halkalar gibi sabit bir hızla yayılabilir. Maxwell'in kuramı radyo ve ışık dalgalarının belli bir sabit hızla yol aldığına varıyordu.

Ama Newton'un kuramı mutlak durağanlık düşüncesini ortadan kaldırdığına göre ışık sabit bir hızla yol alıyorsa bu hız neye göre ölçülüyor sorusunu yanıtlamak gerekiyordu. O halde her yerde ,hatta boş uzayda bile bulunan "eter" denilen bir şeyin varlığı öne sürüldü. Işık dalgaları ,ses dalgalarının havada yayılması gibi eterde yayılıyor olmalıydı. ,o halde hızı da etere göre ölçülebilirdi. Etere göre değişik hızlarda devinen gözlemciler ,ışığın kendilerine değişik hızlarda geldiğini görecekler ,ama ışığın etere göre hızı değişmeyecekti. Özellikle dünya , güneş etrafındaki yörüngesinde eter içinde ilerlerken ,dünyanın devinimi yönünde (biz ışık kaynağına yaklaşırken) ölçtüğümüz ışık hızı ,bu devinime dik açılardan (kaynağa göre durağanken) ölçtüğümüz hızdan fazla olmalıydı. 1887'de Albert Michelson ve Edward Morley ,Cleveland Case Uygulamalı Bilimler Okulunda büyük bir dikkatle şu deneyi yaptılar; Işığın dünyanın devinimi yönündeki hızıyla bu devinime dik yönlerdeki hızını karşılaştırdılar. Büyük bir şaşkınlıkla ölçümlerin tıpatıp aynı olduğunu gördüler.

1887 ve 1905 yılları arasında Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz başta olmak üzere birçok kişi Michelson-Morley deneyi sonucunu eterde devinirken kısalan cisimler ve geri kalan saatlerle açıklama girişiminde bulundu. Ama 1905 tarihli ünlü makalesinde ,o zamana kadar İsviçre patent bürosunda isimsiz bir memur olan Albert Einstein eter kavramının tümüyle gereksiz olduğuna işaret etti. Ama mutlak zaman

kavramından vazgeçilmesi ön koşuluyla. Benzer bir tez birkaç hafta sonra önde gelen bir Fransız matematikçisi Henri Poincare tarafından ileri sürüldü. Einstein'ın savları fiziğe ,bu sorulara salt matematik açısından yaklaşan Poincare'ninkinden daha yakındı.

Görecelik kuramı olarak bilinen bu teorinin temel önermesi ,hızı ne olursa olsun ,özgürce hareket eden her gözlemciye göre bilim yasalarının aynı oluşuydu. Bu düşünce Newton'un hareket kanunları için de geçerliydi. Ama şimdi kapsamı genişlemiş oluyordu. Maxwell'in kuramı ve ışık hızını da içine alarak ne hızla giderse gitsinler tüm gözlemciler ışığın hızını aynı ölçmeliydiler. Bu basit görülen düşüncenin olağan üstü sonuçları vardır. Her halde en çok bilinenleri Einstein'ın ünlü $E=mc^2$ ile özetlenen madde enerji eş değerliği ve hiçbir şeyin ışıktan hızlı gidemeyeceğidir. Enerji ve kütlenin eşdeğerliği nedeniyle ,devimden ötürü enerji kazanan bir nesnenin kütlesi artar. Başka bir deyişle ,hızını artırmak zorlaşır. Bu etki ancak ışık hızına yakın hızlarla devinen nesnelere kendini gösterir.

Göreceliğin olağan üstü bir başka sonucu ,uzay ve zaman kavramlarımızı kökten değiştirmesidir. Newton kuramında ,bir ışık darbesi bir yerden diğerine gönderildiğinde ,değişik gözlemciler (zaman mutlak olduğundan) bu yolculuğun süresinde birleşirler ,ama (uzay mutlak olmadığından) ışığın ne kadar yol aldığına ayrılabilirler. Işığın hızı ,aldığı yolun süreye bölümüne eşit olduğundan değişik gözlemciler ışık hızı için değişik sayılar bulacaktır. Öte yandan ,görecelik kuramında ,tüm gözlemciler ışık hızını aynı ölçmek zorundadır. Ama önceki gibi ışığın gittiği uzaklık üzerinde anlayamadıkları için ,şimdi ne kadar sürede aldığına da anlayamayacaklardır. Öyle görünüyor ki her gözlemcinin ,yanında taşıdığı saatle ölçtüğü bir zaman ölçüsü var ve farklı gözlemcilerin taşıdığı tıpatıp aynı saatler uyumlayabilir.

Bir noktanın uzaydaki konumu koordinat denilen üç sayı ile tanımlanır. Tüm evren yama gibi üst üste binen parçalar topluluğu olarak

tanımlanırsa ,her parçada da ,bir noktanın konumunu saptamak için bir üçlü koordinat takımı kullanılabilir.

Bir olay ,uzayda belli bir zaman ve belli bir belli bir noktada olan şeydir dersek onu dört sayı yani dört koordinat ile belirtmeliyiz. Koordinatların seçimi keyfi olup,herhangi üç uzay koordinatı ile herhangi bir zaman ölçüsünü kullanabiliriz. Görecelikte uzay ve zaman koordinatları arasında gerçek bir ayırım yoktur. Herhangi iki uzay koordinatı arasında gerçek bir ayırım olmadığı gibi ,öyle bir yer koordinat takımı seçilebilir ki ,bu takımın birinci uzay koordinatı ,ötekinin birinci ve ikinci uzay koordinatlarının bir bileşeni olabilir. Olayın gerçekleştiği dört koordinatla tanımlanan yere UZAY-ZAMAN denir. Dört boyutlu uzayı akılda canlandırmak mümkün değildir.

Uzayda bir noktadan belli bir anda ışık darbesi yayınlandığında ,zaman geçtikçe bu darbe ,büyüklüğü ve konumu kaynağın hızından bağımsız bir ışık küresi biçiminde yayılır. Milyonda bir saniye sonra 300 m yarıçaplı bir küre oluşturacak biçimde yayılmış olur ,milyonda iki saniye sonunda yarıçap 600 metreye çıkar ve böylece sürüp gider. İçine bir taş atılmış durgun suyun yüzeyindeki genişleyen halkalar gibi ,küreler de zamanla büyürler. Durgun suyun iki boyutlu yüzeyi ve bir zaman boyutunun oluşturduğu üç boyutlu model göz önüne getirilirse genişleyerek ilerleyen halkalar ,zirvesi (tepesi) taşın suya düştüğü nokta olan bir koni çizer. (şekil 1) Benzer biçimde bir olaydan yayılan ışık dört boyutlu uzay-zamanda üç boyutlu bir koni oluşturur. Bu koniye o olayın gelecekteki ışık konisi denir. Aynı şekilde geçmişteki ışık konisi denilen öteki koniyi de çizebiliriz. (şekil 2) Bu koni ise o olaya ışığı erişebilen geçmişteki olayları tanımlar.

P olayının geçmişteki ve gelecekteki ışık konileri uzay-zamanı üç eşit bölgeye ayırır. Olayın mutlak geleceği P'nin gelecekteki ışık konisi içindeki bölgededir. Mutlak gelecek P' deki olaydan etkilenmesi olanaklı tüm olayları içerir. P'nin ışık konisi dışındaki olaylara P'den gönderilen işaretler erişemez ,çünkü hiçbir şey ışıktan hızlı gidemez. O halde P' de olup biten ,dışarıdaki olaylardan bağımsızdır. P'nin mutlak geçmişi ise geçmişteki ışık konisi içinde kalan bölgedir. Bu da ışık hızıyla ya da daha yavaş giden işaretleri ,P' ye ulaşabilen tüm olayları içerir. O halde P' deki olayı etkileyebilecek tüm olaylar P'nin mutlak geçmiştir. Belli bir anda P'nin geçmişteki ışık konisinin her yerinde olup bitenler bilinirse P' de olacak olay önceden bilinebilir. P'nin geçmişteki ve gelecekteki ışık konisi içinde bulunmayan uzay-zaman bölgesine öte yer denir. Öte yerdeki olaylar P' deki olaylardan ne etkilenir ne de onu etkiler. Örneğin güneş sönürse ,şu anda dünyada olup bitenler bundan etkilenmezdi. Çünkü güneşin sönmesi olayın öte yerinde bulunacaktır. Bu olaydan ancak güneşten bize ışığın erişmesi için gereken sekiz dakikanın sonunda haberdar olacaktık. Çünkü o zaman dünyadaki olaylar ,güneşin sönmesi olayının gelecekteki ışık konisi içine girecektir. Benzer şekilde evrenin uzak yerlerinde neler olduğunu bilemiyoruz ,görebildiğimiz uzak yıldız kümelerinden bize gelen ışık onları terk edeli milyonlarca yıl oldu. Gözlemleyebildiğimiz en uzak nesneden gelen ışık yola çikalı neredeyse sekiz milyar yıl geçti. Yani evrene baktığımızda onun geçmişteki durumunu görmekteyiz.

1905'de Einstein ve Poincare'nin yapmış oldukları gibi ,kütlelerin birbirlerini çekmeleri olayı konu dışı bırakıldığında "Özel Görecelik" kuramına varırız. Uzay-zamandaki her olay için bir ışık konisi (olaydan çıkan ışığın zaman içinde aldığı olanaklı tüm yolların toplamı) çizebiliriz. Işığın her olayda ve her yönde aynı olduğu için ,ışık konilerinin hepsi aynı biçimde ve aynı yönde olacaktır. bu kuram ayrıca hiçbir şeyin ışıktan hızlı gidemeyeceğini söylüyor. Bu demektir ki ,herhangi bir nesnenin uzay ve

zaman içinde aldığı yol üzerinde olan her olayın ışık konisi içinde bir doğru ile gösterilmelidir.

Özel görecelik kuramı ,ışık hızının her gözlemciye göre aynı gözükmesini ve ışık hızına yakın bir hızla seyir eden cisimlerin hareketini açıklamada çok başarılıydı. Ama nesnelerin birbirlerini aralarındaki uzaklığa bağlı olarak çektiğini söyleyen Newton çekim kuramıyla bağdaşmıyordu. Daha önce ,özek görecelik kuramında ,Einstein, tek biçimli olarak hareket eden gözlemcinin uzay ve zaman ölçümleriyle ilgili yasaları keşfetmişti. (Tek biçimli hareket ;değişmeyen bir hızla ve değişmeyen bir yöndeki harekettir.) Einstein tek biçimli olmayan hareketi ele almak için özel görecelik kuramının önermelerinin ötesine gitmesi gerektiğini anladı.

Dünyadan uzakta bir uzay gemisinde olduğumuzu varsayalım. Roket motorları çalıştırıldığı zaman ,uzay gemisi ivmeli olarak hareket etmeye başlar.(bu tek biçimli olmayan bir harekettir.) Uzay gemisi içindekiler bu hızlanma olayını bir kuvvetin onları tabana doğru bastırışı şeklinde hissederler. Roket motoru gemiyi hızlandırdığı sürece bu kuvveti hissetmeye devam ederiz. Uzay gemisindekiler ,gemide olduklarını bilmeseler kendilerini tabana çeken bu kuvvetin hızlanış nedeniyle mi? yoksa kütle çekim nedeniyle mi? Olduğunu ayırt edemeyeceklerdir.

Genel görecelik kuramının ilk ana fikri ;tek biçimli olmayan bir hareketten kütle çekim etkisini ayırt etmenin mümkün olmayacağıdır.

Einstein kütle çekim etkisinin tek biçimli olmayan bir harekete eşdeğer olduğunu anladı. Genel görecelik kuramında ,tek biçimli olmayan biçimde hareket etmekte olan iki gözlemci (örneğin bir gözlemci hızlanan bir uzay gemisinde ,diğeri yer çekimi olmayan uzayda yüzer durumda.) tarafından yapılan uzay ve zaman ölçümleriyle ilgili yasalar bulunmuştur.

Bu yasaların değerlendirilmesi ,Einstein 'ı eğri uzayın geometrisi olan matematiksel Riemann Geometrisi disiplinine götürdü.

Bir ışık ışını enerji taşır. Einstein'ın kütle enerji eşdeğerliği teorisine göre ışığın enerji taşıması onun etkili bir kütlesi olduğu anlamına gelir. Kütlesi olan her şey kütleli çekim alanından etkilenir. Bu da bir gezegenin yakınından geçmekte olan bir ışık ışınının yolunun gezegene doğru biraz büküleceği anlamına gelir. Işığın yolunun bükülmesi ,ışığın artık düz çizgiler boyunca yayılmadığını gösterir.

Einstein kütleli çekimin yüzeysel bir kavram olduğunu ve bir kütleli çekim kuvvetinin olmadığını iddia etmiştir. Gerçekte olan şey ,gezegenin kütleli (ya da herhangi bir kütleli) yanındaki uzayı eğri yapması ,geometrisini değiştirmesidir. Işık her zaman doğru bir çizgide ilerler. Fakat “eğri bir yüzeyde tanımlanan bir doğru çizgide” denmelidir. Einstein ,eğri uzay geometrisi lehine kütle çekim yasasından vazgeçti. Aslında o ;kütleli çekimin bir geometri olduğunu keşfetti. Bu genel göreceliğin merkezi sonucudur.

Genel göreceliğin temel fikirlerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz. İlk olarak eşdeğerlik ilkesi (kütleli çekim ile tek biçimli olmayan hareketin birbirinden ayırt edilemez oluşu) . İkincisi ,ayrı bir fikir olarak uzayın geometrisini belirlemenin bir deneysel problem olduğu. Etrafa lazer ışınları göndererek ,uzayımızın eğri geometrisinin haritasını çıkarabiliriz. Uzayın eğri geometrisini belirlemek için kullandığımız ışığın yolunun kütleli çekim etkisine maruz kaldığını kavrarsak ,bu iki fikir (eşdeğerlik ilkesi ve uzayın eğriliği) birleştirilebilir. Bir ışık ışınının yolunun “kütleli çekim ” varlığı koşullarında büküldüğünü düşünmek yerine kütleli çekimin gerçekte eğri bir uzay şeklinde kendisini gösterdiğini ve ışık ışınlarının eğri uzayda en kısa yol boyunca ilerledikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Einstein ,genel görecelik kuramı konulu yazısında ,güneş ya da bir gezegen gibi maddelerin varlığıyla üretilen uzayın eğri geometrisini (kütlesel çekime eşdeğerdir) belirleyen bir dizi denklem çıkarmıştır. Bu denklemler maddenin varlığı nedeniyle uzayın nasıl eğrileştiğini kesin olarak belirler. Eski düşünce (Newton'un düşünceleri) yeryüzü gibi bir cismin kütleleri çeken bir kütle çekim alanı ürettiği şekildeydi. Bu fikrin yerini şimdi Einstein'ın maddenin kendin yakınında uzayın geometrisini düzden eğriye doğru değiştirdiğini belirten fikri almıştır.

Einstein , genel görecelik kuramı için üç deneysel test önerdi. Bunlar :

- 1) güneşin çekim alanında ışığın hafif bükülmesi,
- 2) Mercury gezegeninin yörüngesinde küçük bir kayma ve
- 3) bir kütle çekim alanında saatlerin daha yavaş çalışması.

Genel kuramının ilk testi ışığın güneş kenarında bükülmesidir. Günümüzde bilimadamları bu testi ,radyo kaynağı olan bazı galaksi ve yıldızlar ,güneş arkasından geçerken (pozisyonlarını tam olarak ölçebilen cihazlar olan) radyo interferometreleri kullanarak yaparlar. Fakat Einstein bu deneyi 1916 yılında önerdiğinde hiç bir radyo teleskopu yoktu. İngiliz bir astronom ve Royal Society üyesi olan Artur Eddington ,Einstein'ın yeni teorisini duydu ve 29 mayıs 1919 'da güney yarımkürede gerçekleşmesi beklenen tam güneş tutulmasını izleyerek teoriyi test etmek istedi. Güneş tutulması Sabral ,Brezilya ve Batı Afrika kıyılarında bir ada olan Principe adalarında izledi.

Bir tam güneş tutulması sırasında ,tutulmuş olan güneşin yakınındaki bölgede yıldızlar görülebilir durumdadır ve fotoğrafları da çekilebilir. Güneşin arkasındaki uzak yıldızlardan gelen ışık , güneşe çok yakın bir yol üzerindedir ve bu nedenle Einstein 'a göre ,güneşin etrafındaki eğri alanda bükülmeleri gerekir. Bu bükülme durumu

,altı ay sonra güneş yıldızların yolunun yakınında değilken bu yıldızların gece çekilen ikinci bir fotoğrafı ile karşılaştırılırsa ispatlanabilir. Bu kıyaslama ,iki fotoğrafta yıldızların göreceli konumları arasında ,güneş etrafındaki eğri uzayda ışığın bükülmesi nedeniyle oluşan bir kaymayı gösterir. 1919 yılında Royal Society ,hem Sabral hem de Principe'de güneş tutulmaları sırasında gözlenen yıldızların konumlarının Einstein'ın kestirimleriyle uyum halinde olduğunu ilan etti. İki yüzyıl sonra Newton'un kütleçekim yasası yıkılmış ve Einstein'ın yaygın ünlülük dönemi başlamıştı.

Işığın bükülmesini doğrulayan bir diğer olay ,1979'da bir kütleçekim merceğinin keşfedilmesi oldu. Kütleler yakınındaki uzayın bükülmesine yol açtığı için ,ışık ışınları büyük bir kütlenin yakınında ,sıradan bir cam mercekteki gibi bükülürler. Einstein kütleçekim merceği konusunda 1937'de kestirimlerde bulunmuştu. Einstein ,mercek gibi davranan büyük bir kütle bizimle daha uzaktaki bir ışık kaynağı arasındaki görüş çizgisi olduğu zaman uzaktaki kaynağın çift imajını göreceğimizi iddia etti. Dennis Walsh ,Robert Carswell ve Ray J. Weyman 1979'da bir kuasarın (radyo ve ışık kaynağı) güçlü bir teleskop ile gözlemlendiğinde gerçekten iki görüntülü olduğunu fark ettiler. Kuasarın bu çift görüntüsünün en iyi açıklaması ,bizimle kuasar arasında bulunan tüm galaksilerin ,kütleçekim merceği gibi davranmasıdır.

Genel görecelik kuramının ikinci testi 1859'da Fransız astronom Urbain Jean Joseph Le Verrier tarafından keşfedilen Merkür gezegeninin yörüngesindeki perihelion (gezegenin en yakın noktası-günberi noktası) ilerlemesi olarak isimlendirilen küçük kaymadır. Perihelion bir gezegenin eliptik yörüngesinde güneşe en yakın erişim noktasıdır ve onun ilerlemesi ,bu noktanın belli bir zaman zarfında güneş etrafında hareket edebileceği miktarı gösterir. Le Verrier ,Newton'un kütleçekim yasasını tüm gezegenlerin Merkür'ün perihelion ilerlemesi üzerindeki etkilerini hesapladığında ,teorik hesaplarla gözlemler arasında yüzde birlik bir fark

buldu. Bu farkı ihmal etmeden sonuçları yayınladı. Başka bilim adamları ,güneş etrafındaki toz veya güneşin mükemmel yuvarlak olmaması gibi nedenler ileri sürerek bu farkı Newton yasalarından çıkarmaya çalıştılar. Fakat toz hiçbir zaman gözlemlenmemiştir ve güneş yuvarlaktı. Einstein genel görecelik kuramının Newton'un kütleli çekim yasasından küçük farklarla sonuç vereceğini söylüyordu ve yüzyılda 43 saniyelik bir yay rakamı veriyordu. Bu da tam olarak Le Verrier 'in bulduğu farktı. Bu gün güçlü radarlar Merkür'ün yüzeyindeki dağları vadilerden ayırmaktadırlar. Bu tür radarlar Merkür'ün yörüngesini tam olarak ölçer ve yine perihelion kayması genel görecelik kuramı ile uyum halindedir.

Genel görecelik kuramının üçüncü testi ,saatlerin kütleli çekim alanında daha yavaş çalışmasıdır. Kütleli çekim kuvveti ne kadar güçlü olursa ,zaman o kadar yavaş akar. Einstein zamanı basitçe saatin ölçtüğü şey olarak tanımladı. Eğer bir saat yavaşlıyorsa zaman da yavaşlar. Aslında bir kütleli çekim alanında ,kütleli çekim alanı olmayan bir yerde yaşayan canlılara göre daha yavaş yaşlarız. Saatlerin yavaşlaması konusundaki bu etki son derece küçüktür ,yalnız son derece hassas saatler bunu tespit edebilir. Yapılmış en hassas saatler atomik saatlerdir. Senkronize edilmiş iki saat yan yana bırakılırsa ,milyarlarca yıl sonra ,aralarında yalnız saniyenin küçük bir bölümü kadar fark olacaktır. Bu saatlerden birini kütleli çekimin daha düşük olduğu dünyaya göre yüksek bir yerde yörüngeye yerleştirip ,onun ölçtüğü zamanı kütleli çekimin nispeten daha kuvvetli olduğu yeryüzündeki özdeşinin ölçtüğü zamanla kıyaslırsak ,kütleli çekimin bu saatleri nasıl etkilediğini anlayabiliriz. İki saat arasındaki gözlemlenen zaman farkı genel görecelik teoriyle uyum halinde olacaktır. bu deneyin başka bir versiyonunda ,özdeş atomik saatlerden biri Washington D.C. 'deki National Bureau of Standards 'da deniz seviyesine ,diğeri Colorado'da Denver'e götürülmüştür. İki yer arasındaki kütleli çekim kuvvetindeki farktan dolayı (rakımları farklı) saatler farklı hızlarda çalışmışlardır. Genel görecelik kuramı ile uyumlu bir

sonuç elde edilmiştir. Denver 'deki insanlar küçük bir farkla Washington DC 'deki insanlardan daha hızlı yaşlanırlar.

Einstein tarafından önerilen ,genel görecelik kuramı konusundaki üç orijinal test modern teknoloji kullanılarak güzel bir şekilde denenmiştir. Fakat bu kestirimlerin dışında kuram , fizikçilerin bu gün araştırdıkları başka sonuçları da getirmektedir.

Genel görecelik kuramı ,devinen ağır cisimlerin uzayın eğriliği içinde ışık hızıyla yol alan dalgalanmalar biçiminde “kütlesel çekim dalgaları ” yayınına neden olacağını öngörmektedir. Bunlar elektromagnetik alanın dalgalanmaları olan ışık dalgalarına benzer fakat ayırt edilmeleri çok daha zordur. Işık gibi kendisini yayınlayan nesneden enerji alıp götürürler. Şu halde büyük kütlelerden oluşmuş bir sistemin zamanla durağanlıkta karar kılması beklenebilir ,çünkü her türlü devinimin enerjisi çekim dalgalarının yayınlanmasıyla uzaklaşıp gidecektir. (suya atılan mantar gibi ,mantar önce inip çıkar ama yayılan halkalar enerjisini uzağa taşıdııkça devinimi azalır ve sonunda durağanlaşır.) Örneğin dünyanın güneş etrafındaki yörüngesinde hareketi sırasında üretilen kütleli çekim dalgaları üretilir ve enerji yitiminin etkisiyle yörüngesi değişerek gittikçe güneşe yaklaşacak ve sonunda dünya güneşe çarpacaktır. Dünya ve güneş örneğinde enerji yitiminin hızı çok düşüktür. (küçük bir elektrikli ısıtıcıyı çalıştırmaya ancak yeter.) Dünyanın bu nedenle güneşe çarpması için gereken süre güneşin ömründen hayli fazladır. Dünyanın yörüngesindeki değişiklik gözlenemeyecek denli azdır. Ama aynı etki son birkaç yıl içinde PSR-1913+16 sisteminde gözlendi.(PSR ,pulsar yani düzenli radyo dalgaları yayınlayan özel bir nötron yıldızı türüdür.) Bu sistem birbiri etrafında dönen iki nötron yıldızından oluşur. Çekim dalgaları yayınlanması sonucu yitirilen enerji bu iki yıldızın birbirine yaklaşmasına neden olur.

Binary pulsar ,sıradan bir yıldız etrafında bir yörüngede hareket eden pulsardır. Bir optik teleskop ile bir pulsarı göremesek de ,büyük bir

radyo teleskopu kullanarak pulsarın çıkardığı radyo sinyallerini tespit edebiliriz. Bir binary pulsar örneğinde ,pulsar kendisine eşlik eden yıldızın arkasında salınır. (etrafında dolandığı için) Bu durum onun radyo sinyallerinin önünü kapatır. Sinyalin ne kadar sıklıkla engellendiğini ölçerek ,pulsarın eşi olan yıldız etrafındaki her dönüşünün süresini (periyodu) belirlemek mümkündür. Astronomlar böyle bir binary pulsarı yıllardır gözlemlemektedirler ,periyodunu ölçmüşler ve yavaşlamakta olduğunu tespit etmişlerdir. Bu yavaşla ,uzaya kütleli çekim dalgaları yayıldıkça kaybedilen enerjiyle açıklanabilir. Enerji kaybı pulsarın yörünge periyodundaki yavaşlama olarak gözlemlenir. Astrofizikçiler ,genel görecelik kuramını kullanarak ,uzaya yayılan kütleli çekim dalgalarından dolayı enerji kaybını hesaplamışlar ve bu yavaşlama ile dikkate değer şekilde ile dikkate değer şekilde uyum içinde olduğunu görmüşlerdir.