



MIT Açık Ders malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.01 Fizik I: Klasik Mekanik, Güz 1999

Bu materyallerden alıntı yapmak veya kullanım şartları hakkında bilgi almak için

<http://ocw.mit.edu/terms> ve <http://www.acikders.org.tr> sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.01 Fizik I: Klasik Mekanik, Güz 1999

Transkript – Ders 23

Ses hızı 340 metre bölü saniyedir.

Bu hız biraz da sıcaklığa bağlıdır--

Bu yaklaşık 770 mil bölü saat eder.

Sizinle konuştuğumda, sesim size bu hız ile ulaşır.

Burada belli bir frekans, saniye başına belli bir sayıda salınım üretirim.

Onlar sizlere ulaşır, kulak zarlarınız aynı frekansla salınmaya başlar ve siz bu sesi işitirsiniz.

Burada saniyede 440 defa salınım yapan bir diyapazonu görmektesiniz.

Kulak zarınız saniyede 440 defa titreşmekte.

Bu sesi duyuyorsunuz.

Burada saniyede 256 salınım yapan bir diyapazonu görmektesiniz.

Şimdi kulak zarlarınız saniyede 256 defa ileri-geri doğru titreşmektedir.

Eğer bulunduğunuz yerde kalır ve hareket etmezseniz ve ben de bu diyapazonu hareket ettirsem, sizler farklı bir frekans duyacaksınız ve işte bu bizim Doppler etkisi diye adlandırdığımız şeydir.

Eğer ses kaynağı size yaklaşırsa, diyapazonun ürettiği frekanstan daha büyük bir değere sahip olan f üssü frekansı duyacaksınız.

Eğer ses kaynağı sizlerden uzaklaşırsa, bu durumda f üssü daha küçüktür, daha düşük frekanslıdır.

Örneğin, yayıcı olarak adlandırdığım bir ses kaynağını yaklaşık 1 metre bölü saniyelik bir hızla sizlere doğru hareket ettiriyorum.

Bu yayıcı, bir ses yayıcısı

Bu durumda eğer yayıcı sizlere yaklaşırsa, sizler onun f üssü frekansını f frekansının 1.003 katı olarak işiteceksiniz.

Buradaki 3 değeri 340 üzerinden 1 eder ve bunu frekansta artış olarak elde edeceksiniz.

Eğer yayıcıyı sizlerden uzaklaştırsaydım, bu durumda f üssü, kaynağın kendi frekansının 0.997 katı olacaktı.

Sizler olduğunuz yerde durun.

Burada 4.000 hertz'lik çok yüksek frekans üreten bir diyapazonum var.

Eğer onu 1 metre bölü saniyelik hızla onu size doğru hareket ettirsem ki bunu yapabilirim, bu durumda sizler frekansta % 0.3 lük bir artışı duyarsınız.

Bu frekansın 4.012 hertz olmasını sağlar.

Ve sizler bu farkı kolaylıkla hissedebilirsiniz.

İlk olarak hareket ettirmeden önce sizlerin 4.000 hertzi duymanızı sağlayacağım.

Onu işitebiliyor musunuz? Oldukça yüksek frekansta.

O gerçekten rahatsız edici mi? Yüksek frekans.

Çoğunuz 4.000 hertzlik frekansı duyabilmek için yeterince gençsiniz.

Tamam, şimdi onu 1metre bölü saniyelik hızla size doğru hareket ettireceğim ve sonra sizlerden uzaklaştıracam.

Duydunuz mu? Bir defa daha.

Diyapazon sizlere doğru hareket ettiğinde frekansın yükseldiği ve sizlerden uzaklaştığında ise frekansın düştüğü açıktır.

Şimdi ses kaynağını bir daire etrafında döndürdüğümü düşünün.

Şimdi sizlere gelen ses, sizlere gelen frekans sinüzoidal şekilde değişecektir.

Eğer bu diyapazonu döndürdüğüm daire ve bu da dairenin yarıçapı ise ve sizler de daire düzleminde ve buradaysa iseniz, bu durumda kaynak sizlere v hızıyla yaklaştığında, bunun düzgün dairesel hareket olduğunu kabul edelim.

f üssü f den daha büyük olacak ve bu durumda frekans maksimuma ulaşacaktır.

Ve sizlere göre 90 derece olduğunda--

Bunu vektörel olarak göstermek zorunda değilim--

f üssü f e eşittir.

Ve sizlerden uzaklaştığında, f üssü f den daha küçüktür, sizler onu minimum frekansta işitirsiniz.

Ve tekrar burada olduğu zaman

Sizin doğrultunuz ve hız arasındaki açı tekrar 90 derece olduğu zaman, bu durumda tekrar f üssü f ye eşit olur.

Ve böylece bu olay Doppler etkisi olarak adlandırılır.

Eğer onu döndürürsem, sizler f üssü değerinde bir sinüzoidal dalgalanma işiteceksiniz.

Zamanın fonksiyonu olarak sizlerin işittiği şekilde f üssünün grafiğini çizersem. Sizler hala hareketsizsiniz, fakat ses kaynağını bu şekilde döndürüyorum.

Bu durumda sizler bu şekildeki, yani f üssünün yaklaşık sinüzoidal – kosinüzoidal değiştiği bir eğri elde edeceksiniz.

Burası ses kaynağının kendisinin ürettiği f değeridir.

Burası f üssü maksimum ve burası f üssü minimum değeridir.

Eğer bunu kaydedebilirsiniz, bu eğriden oldukça çok sayıda sonuç çıkarabilirsiniz.

İlk olarak, f üssü maksimum bölü f 'yi ölçebilirsiniz, çünkü bu eğriniz var ve f nin değerinin ne olduğunu buradan görebilirsiniz ve f üssü maksimumun da değerinin ne olduğunu buradan görebilirsiniz. Bu yayıcının v hızının ne olduğunu hemen elde etmenizi sağlar.

Eğer bu değer 1.003 ise, bu durumda yörünge hızının 1metre bölü saniye olduğunu bilirsiniz.

Böylece bu oran sizlere doğrudan yayıcının hızını verir.

Bu zaman aralığı, direkt olarak dönme periyodunu verir; fakat $2\pi R$ bölü dolanım T periyodu sizlere yayıcının hızını vereceğinden ve sizler de bu orandan vericinin hızını bulabileceğinizden dolayı, periyodu da bildiğinizden dolayı, şimdi aynı zamanda R yarıçapını da bulabilirsiniz.

Bu eğriyi daima aklınızda bulundurun çünkü sonraları oldukça önemli olacak. Bu eğriden 3 şeyi elde edebiliriz: yarıçapı, dönme periyodunu ve onu kendi etrafında döndürdüğüm zamanki hızını belirleyebiliriz.

Burada ses oluşturan bir aletimiz var.

Bunu kendi etrafında döndürdüğümde, özel bir ses çıkarır.

Bunun neden özel ses çıkardığı hakkında 8.01 dersinde daha sonra konuşacağız.

Bazen 2 ses duyarsınız.

Yalnızca bir sesi duymanız için çalışacağım.

Ve ben onu etrafında döndürdüğümde, ses kaynağı, yayınlayıcı size doğru yaklaşmaktadır.

Bu alet bu şekilde giderken yani 90 derecelik açığa sahip olduğu zaman herhangi bir Doppler kayması duyamamalısınız.

Alet buradayken, sizlerden uzaklaşır ve böylece f üssünde bir sinüzoidal değişim duyarsınız.

Sesi işitmeye çalışın

Sizlere yaklaştığı zaman, sizlerden uzaklaştığı duruma kıyasla daha yüksek tizlikteki sesi işitebiliyor musunuz? Bunu işitebiliyor musun? Eğer işitemiyorsanız lütfen sadece hayır deyin.

Çok net söylemiyorsunuz.

[Sesi oluşturan aletin tam altında durduğumdan dolayı oluşturmuş olduğu sesi benim duymam imkânsızdır.

Tamam, denedim.

Şimdi elektromanyetik dalgalar konusuna geçmek istiyorum.

Elektromanyetik dalgalar değeri 300.000 kilometre bölü saniye olan ışık hızıyla hareket ederler.

Ve eğer bu değeri doğru bir şekilde saptamak istiyorsanız, özel göreliliği kullanmanız gerekecektir.

Ses durumunda, defalarca ses kaynağının hareket etmesinin dışında hareketsiz kalmanızı vurguladım.

Elektromanyetik radyasyon durumunda ise, ışık hızı ile ilgilendiğiniz zaman bu soruyu sormamalısınız.

Bu soru özel görelilikte anlamsız bir sorudur.

İster sizlerin bana göre hareket etmenizi, ister benim sizlere göre hareket etmemi sorgulamak hiç anlamlı değildir.

Özel görelilikteki tek önemli olan şey bağıl harekettir, Böylece kendinizi daima duruyor olarak düşünebilir ve elektromanyetik radyasyon kaynağının sizlere doğru yaklaştığını veya sizlerden uzaklaştığını düşünebilirsiniz.

Elektromanyetik radyasyon optik ışık, kırmızı ötesi, ultraviyole, radyo dalgaları, x-ışınları, gama ışınlarıdır.

Bunların hepsi elektromanyetik radyasyondur.

Eğer yayıncının hızı ışık hızından çok çok küçük ise, bu durumda Doppler kaymasından dolayı frekanstaki değişimi tahmin etmek oldukça kolaydır.

Bunun f frekansı üreten yayıncı ve bunun da f üssü frekansını alan alıcı olduğunu kabul edelim.

Ve elektromanyetik radyasyon kaynağının hızı v olsun--

Buraya θ indisi yazabilirim fakat bu indisini söylebiliriz.

Ve bu açı θ olsun.

Bu durumda bu sizin doğrultunuzdaki bileşendir--

Bunu radyal bileşen olarak adlandırırız--

Ve bu radyal bileşen $v \cos\theta$.

Şimdi θ 'yi sildim.

Bu sadece bu açı değerinde, kaynağın size göre hızıdır.

Şimdi eğer f üssünün ne olduğunu bilmek istiyorsak, bu durumda f üssü, f çarpı 1 artı v bölü c çarpı $\cos\theta$ ya eşittir.

Burada önemli olan tek şey yalnızca hızın radyal bileşenidir.

Bu radyal bileşendir.

Eğer θ 90 derece ise, aynı ses olayında yaptığımız gibi, bu durumda f üssü eşit f dir.

Yani, 90 derecede, $\cos\theta$ değeri sıfırdır ve böylece f üssü eşit f olur.

Eğer θ 90 dereceden küçük ise, bu durumda size doğru yaklaşmaktadır ve f üssü, f den büyük olur.

Eğer θ 90 dereceden büyük ise, bu durumda sizden uzaklaşmaktadır ve f üssü, f den küçük olur.

Ses durumunda da, bu c değeri yerine, sesin hızını yazarak benzer eşitliği elde edersiniz.

Fakat bunun sadece elektromanyetik radyasyon durumunda v bölü c oranının birden çok çok küçük olduğunda geçerli olduğunu vurgulamak istiyorum.

Şimdi, ses ile ilgilendiğimizde, mekanik olarak titreşen bir şeyler vardır.

Bir şeyler titreşmektedir.

Elektromanyetik radyasyon durumunda, yükler titreşmektedir.

Elektronlar titreşmektedir. Ve elektronlar belli bir frekansta titreşmektedirler ve bu belli bir salınım periyodunun olduğunu ifade eder.

Ve tabii ki bir salınımın periyodu $1/b$ dir.

Şimdi kendi kendime elektromanyetik radyasyonun büyük T periyodu zarfında ne kadar uzağa gittiğini, ışığın ne kadar yol aldığını sorabilirim? Elektromanyetik radyasyon ışık hızıyla hareket eder, Böylece c çarpı T mesafesi kadar yol alır.

Ve bu mesafeyi elektromanyetik radyasyonun dalga boyu olarak adlandırırız, λ eşit c çarpı T aynı zamanda bunu c/b olarak da yazabilirsiniz.

Bu elektromanyetik radyasyonun dalga boyudur--

Işığın hızı, 300.000 kilometre bölü saniyedir--

Bu bir salınımın periyodudur. Salınım yapan elektron olsun, bu ise hertz olarak verebileceğiniz frekanstır.

Size özel bir örnek verebilirim.

Örneğin T periyodunu, 2×10^{-15} saniye olarak alabilirim.

Bu bana dalga boyu için yaklaşık 6×10^{-7} metre değeri verecektir.

6×10^{-7} metre.

Ve sizler bunu kırmızı ışık olarak görürsünüz.

Eğer periyodu daha kısa yaparsam,

1.3×10^{-15} saniye olsun

Daha kısa bir dalga boyu elde ederim.

Bu durumda 4×10^{-7} metre elde ederim ve sizler onu mavi ışık olarak görürsünüz.

Astronomide, optik astronomide bizler optik ışığın frekansını ya da periyodunu ölçemeyiz.

Ölçebileceğimiz tüm şey dalga boyudur.

Ve böylece eğer bu eşitliği kullanmak istersem, bu durumda f üssü yerine c/b λ üssü ve f yerine ise c/b λ yazmam gerekir.

Ve bunu yaptığım zaman, şu sonucu elde ederim.

λ üssü eşit $\lambda \times 1/v \cos\theta$.

Eğer bu artı ise, bu eksidir.

Bunu kendiniz kontrol edin

Küçük değer yaklaşımını kullanmanız gerekir.

Taylor açılımını, anlayacağınız v bölü c nin 1 den çok çok küçük olduğu durumu kullanmalısınız.

Şimdi cisim sizlere doğru yaklaşıyorsa, başka bir deyişle eğer f üssü f den daha büyükse, eğer frekans daha yüksekse, bu durumda dalga boyunun daha küçük olacağını görebilirsiniz.

Buraya yazayım.

Cisim size doğru yaklaştığı zaman, $\cos\theta$ değeri sıfırdan daha büyük olduğu zaman, cisim size yaklaşmaktadır. Bu durumda λ üssü, dalga boyu λ dan daha küçük olacaktır.

Ve onun bir adı var, ve bizler onu maviye kayma olarak adlandırırız.

Ve maviye kayma olarak adlandırmamızın sebebi: eğer dalga boyları kısalıyorsa --, dalga boylarının spektrumun mavi ucu tarafına doğru kaymaya başlaması, mavinin kırmızıdan daha küçük bir dalga boyuna sahip olmasından dolayıdır.

Eğer $\cos\theta$ negatif ise, bu durumda cisim sizlerden uzaklaşmaktadır. Bu durumda λ üssü λ dan daha büyük olur, ve bizler bunu kırmızıya kayma olarak adlandırırız.

Bunlar astronomların her zaman kullandıkları terimlerdir.

Bir yıldızın spektrumunu oluşturduğunuz zaman, bunu prizmaları kullanarak ya da diğer yöntemlerle yapabilirsiniz.

Ve dalga boyunun fonksiyonu olarak ışık şiddetine baktığınız zaman;

burada dalga boyunun fonksiyonu olarak ışık şiddeti verilmiştir.

Bu durumda bu şekilde sürekli bir çizgi görmeyi bekleyebilirsiniz.

Fakat bazen sürekli çizgi üzerine binmiş olan çok keskin soğurma çizgileri görürsünüz.

Siyah, aydınlık olmayan, soğurma çizgileri diye adlandırılan şeylerdir. Ve bu soğurma çizgileri yıldızların atmosferindeki elementlere karşılık gelir.

Aslında eğer sizler soğurma çizgilerini görürseniz, yıldızlarda ne tür elementlerin mevcut olduğunu söyleyebilirsiniz.

Bunlardan bazıları çok karakteristik soğurma çizgileridir; bazıları hidrojen, bazıları kalsiyum, bazıları silisyum, bazıları magnezyum ve bunların benzerleri.

Güneşin spektrumuna baktığınızda bu gerçekten ilginçtir.

İnsanlar ona ilk baktıkları zaman, bunu incelemeye niyetlendikleri zaman, güneşin spektrumunda tanımlayamadıkları soğurma çizgileri buldular.

Bu soğurma çizgilerini dünyada hiç görmemişlerdi. Böylece bu soğurma çizgilerini güneşi inceledikten sonra adlandırdılar.

Helios Güneş demektir ve böylece bunu helyum diye adlandırdılar.

Böylece helyum ilk olarak güneşte keşfedildi. Daha sonra güneş spektrumunun soğurma çizgilerine bakılarak yeryüzünde keşfedildi.

Bir yıldız sizlere doğru yaklaşıyorsa, bu durumda bütün çizgiler, her bir çizgi maviye doğru kayar.

Ve yıldız sizlerden uzaklaşıyorsa, bütün çizgiler kırmızıya doğru kayar.

Eğer λ üssü bölü λ dan oluşan bir örnek ele alacak olursanız ve bu çizgilerin herhangi birini seçersiniz.

Onların hangisini seçtiğiniz önemli değildir. Çünkü onların hepsi tamamen aynı olacaktır.

Örneğin eğer bu 1.000333 ise,

oldukça güzel bir değer seçtim; gördüğünüz gibi λ üssü λ dan daha büyüktür; dalga boyları uzamaktadır. Bundan dolayı kırmızıya doğru kayma söz konusudur.

Ve bunu bu denklemde yerine koyarsanız, bu durumda sizlere göre hareket eden yıldızın hızını bulursunuz.

Ve bu eşitlik sizlere hemen cevabı verir--

Ve bu hız eksi 0.000333 çarpı c ışık hızına eşittir, ve bu eksi 100 kilometre bölü saniyedir.

Bu durumda eksi işareti cismin sizlerden uzaklaştığını ifade eder.

Ve böylece bu sizlere kırmızıya doğru bir kaymayı verir.

Sadece hızın eksi 100 kilometre bölü saniye olduğunu yazdım.

Tabii ki v çarpı $\cos\theta$ değeri eksi 100 kilometre bölü saniyedir.

Ölçebileceğiniz şey bu radyal hızdır.

θ hakkında hiçbir bilgiye sahip değilsiniz.

Bu hız bileşeni v çarpı $\cos\theta$ olarak adlandırdığımız ve değeri eksi 100 kilometre bölü saniye olan, bizim radyal hız olarak adlandırdığımız bileşendir.

Gökyüzündeki yıldızların yarısı çift yıldızlardır. Ve böylece spektruma baktığınız zaman, onların birbirlerinin etrafında dolandıklarını göreceksiniz.

Ve böylece prensipte onların birbirlerinin etrafında dolandıklarından dolayı kırmızıya ve maviye doğru kaymaları ölçebilirsiniz.

Doppler etkisini görürsünüz.

Eğer onlar size yaklaşırsa, maviye doğru kaymayı görürsünüz.

Eğer onlar sizden uzaklaşırlarsa, kırmızıya doğru kaymayı görürsünüz.

Böylece prensipte, bu yıldızların her biri için yörünge hızlarını, yörüngelerinin yarıçaplarını ve kesinlikle çift yıldız sisteminin periyodunu belirleyebilirsiniz.

Eğer bir ikiz yıldız sisteminiz varsa ve yıldızlar bu şekilde hareket ediyorsa, bu astronomide bilmek isteyeceğiniz tüm nicelikleri belirlemenizi sağlamada son derece güçlü bir yöntemdir.

Şimdi ilk olarak sizlere bazı slaytlar göstermek istiyorum.

İlk slayt... oo, bu arada, ekranı indirmek zorundayım.

Bu görmenize kolaylık sağlayacak değil mi?

İlk slayt hidrojenin, helyum ve kalsiyum ve sodyumun laboratuarda elde edilen bir spektrumudur.

Sizlere emisyon çizgilerini göstermektedir. Soğurma çizgileri değil.

Bu çizgiler lamba kullanılarak üretilmiştir ve frekansları çok iyi bilinmektedir.

Burada sodyumun ünlü sarı çizgilerini görmektesiniz.

Burası spektrumun kırmızı bölgesi ve burası ise spektrumun mavi bölgesidir.

Bu frekansları ve bu dalga boylarını çok iyi biliriz.

Ve burada ise güneş spektrumunun sizlere bahsettiğim tüm soğurma çizgilerini görüyorsunuz.

Çok sayıda soğurma çizgileriyle kaplıdır ve onların her biri tanımlanabilir.

Bunlar kalsiyum, demir, hidrojen ve vb. şeylerden kaynaklanmaktadır.

Burası spektrumun mavi bölgesidir, burası yeşil bölgesi, burası yeşil bölgesi ve burası ise spektrumun kırmızı bölgesi.

Ve sizler burada çift yıldız sisteminin ana fikri görmektesiniz.

Yalnızca bir yıldızın görünüp, diğer yıldızın görünmediği bir ikili yıldız sisteminizin olduğunu varsayalım ve bir yıldız size 3 net soğurma çizgisi gösterir.

Bu durumda yıldız kütle merkezi etrafında hareket ederken, tüm bu çizgilerin uyum içinde kaydığını görürsünüz.

Ve bu bilgilerden faydalanarak, yıldızın yörünge düzlemindeki dünyada olduğunuzu varsayarak, periyot, hız ve yarıçapı elde edersiniz.

Eğer her iki yıldızın da görüldüğü bir ikili yıldız sistemi söz konusuysa, bu durumda her iki yıldızın da spektrumunu elde eder ve spektrumda her iki yıldızın Doppler kaymasını görürsünüz.

Bu örnekte konuyu karıştırmamak için, yalnızca 2 soğurma çizgisinin olduğu basit bir durum söz konusu.

Eğer iki yıldızdan oluşmuş bir sisteminiz var ve bir yıldız size doğru yaklaşırken diğeri sizden uzaklaşıyorsa, birinci yıldız durumunda kayma sola doğru olacaktır. Diğer yıldız durumunda ise kayma sağa doğru olacaktır; bu tersine de olabilir.

Şimdi çok şanslısınız çünkü iki yıldızın da yörünge hızını, yörünge yarıçapını, tabii ki her ikisi için de aynı olan periyodları bulabileceğiniz ideal bir durum var.

Ve burada gerçek verileri görüyorsunuz.

Burada ilk olarak sizlere henüz göstermiş olduğum laboratuarda ölçülen emisyon çizgilerini görmektesiniz.

Onlar her zaman ölçümler ile eş zamanlı olarak elde edilirler.

Her zaman için dalga boyu açısından iyi bir kalibrasyona sahip olduğunuzdan emin olmalısınız.

Ve buradaki a spektrumu, üstteki spektrum, 20.5 günlük periyoda sahip olan bir ikili yıldızın spektrumudur.

Ve eğer gözleriniz iyi görüyorsa, buradaki tek çizgiyi görürsünüz.

Bu ölçümün alındığı anda her iki yıldız da size göre 90 derecelik açıyla hareket etmektedir. Böylece herhangi bir Doppler kayması görmezsiniz.

Şimdi buraya bakarsanız.

Daha sonraları, bu çizginin 2 çizgiye ayrıldığını görürsünüz ve şu da aynı zamanda 2 çizgiye ayrılmıştır.

Açıkça, bir yıldız sizlere doğru hareket etmekte, diğeri ise sizden uzaklaşmaktadır.

Ve böylece ikili yıldızlar sistemi için Doppler kayması ölçümleri yaparak astronomide tüm bu yararlı bilgileri elde edersiniz.

İkili yıldızlar konusuna devam etmek istiyorum.

Onlar yalnızca bize yörüngeleriyle ilgili bilmek istediğimiz bilgiyi vermezler. Aynı zamanda onlar vasıtasıyla daha da heyecan verici bilgiler elde edebiliriz.

Sizlere ikili yıldız sisteminin neye benzediğini hatırlatacağım.

İkinci sınavı hatırlayın.

İkinci sınavı asla unutmayacağınızdan eminim ve bundan dolayı da belki beni asla affetmeyeceksiniz.

İkili yıldız sistemi: Birinci yıldız için yarıçap r_1 , kütle m_1 , hız v_1 'di ve ikinci yıldızla oluşturduğu kütle merkezi etrafında hareket etmekteydi. Kütle m_2 , yarıçap r_2 ve hız v_2 di. .

$m_1 r_1$ eşittir $m_2 r_2$ dir.

Kütle merkezi bu şekilde tanımlanır.

Bu yörünge düzleminde bir yerde bir gözlemci olduğunuzu düşünün; buradasınız.

Ve siz etrafınızda dönen sistemi gözlemliyorsunuz.

Sınavda ve aynı zamanda ödevde türetmiş olduğunuz Keplerin 3. Kanununa göre: periyodun karesi 4π kare çarpı $(r_1 + r_2)$ nin küpü bölü G çarpı $(m_1 + m_2)$ ye eşittir.

Bunun doğru olduğundan emin olmak için, kontrol edeyim.

Evet, doğrudur.

Şimdi her iki yıldızın Doppler kayması ölçümlerini yapabileceğinizi düşünün.

1 nolu yıldızın Doppler kayması ölçümlerini yapıyorsunuz, böylece zamanın fonksiyonu olarak λ_1 üssünü ölçüyorsunuz.

Buradan hemen dönme periyodunu, anlattığımız gibi hızı, r_1 yarıçapını hesaplayabilirsiniz.

Ve şimdi zamanın fonksiyonu olarak iki nolu yıldızın Doppler kaymasını ölçersiniz.

Buradan hemen periyodu elde edersiniz ve tabii ki periyot aynı kalacaktır.

Buradan onun yörüngedeki hızını ve yörünge yarıçapını elde edersiniz.

Ve bütün bu değerler Doppler kayması ölçümlerinden elde edilir. Fakat eğer r_1 ve r_2 yi biliyorsanız, bu durumda $r_1 + r_2$ yi de biliyorsunuz demektir. Böylece Keplerin 3. Kanununun bu kısmını biliyorsunuz.

Ayrıca periyodu da bildiğinizden dolayı, $(m_1 + m_2)$ değerinin ne olduğunu da elde edebilirsiniz.

Böylece şimdi ekstra bir avantaj elde edersiniz.

Şimdi ikili yıldız sistemindeki iki yıldızın kütleleri toplamının ne olduğunu biliyorsunuz, ayrıca $m_1 r_1$ eşit $m_2 r_2$ olduğunu da biliyorsunuz.

Böylece şimdi 2 denkleminiz vardır.

$m_1 + m_2$ nin ne olduğunu biliyorsunuz ve bu eşitliği de biliyorsunuz ve bu iki denklemden m_1 ve m_2 değerlerini elde edersiniz. Düşündüğünüz zaman bu oldukça şaşırtıcı bir şeydir.

Böylece sonuçta birinci yıldızın ve ikinci yıldızın kütlelerini elde edersiniz.

Tüm bu değerler yani hızlar, çaplar, periyotlar ve hatta bu yıldızların kütleleri Doppler kayması ölçümlerinden elde edilir.

Şimdi tam olarak yörünge düzleminde olmayan dünyadaki bir gözlemci iseniz, bu durumda durum biraz daha karmaşıktır ve bugün bunu burada anlatmayacağım. Fakat prensipte bu durum Doppler kaymasının arkasındaki ana fikri etkilemez.

Fakat astronomlar için bu çok önemlidir.

Bu gerçekten baş belası bir durumdur fakat onu detaylı olarak anlatmayacağım.

x-ışını astronomisinde sahip olduğumuz büyüleyici bir uygulamayı anlatmak istiyorum.

Yani anlayacağınız, x-ışını çiftlerimiz var. x-ışını çifti nedir? O bir çift sistemdir.

Bu güneşimizden farklı olmayan bir yıldızdır.

Bu belli bir kütleye, belli bir yarıçapa sahiptir ve bir nötron yıldızı olarak alabileceğimiz bir yıldızla yörüngededir, bu bir kara delik bile olabilir.

Fakat şimdilik onun bir nötron yıldızı olduğunu varsayalım.

Ve eğer bu iki kütle aynı ise, sadece basit olsun diye aynı kütleleri kullanıyorum--

Aslında pratikte farklı olabilirler.

Bu durumda bu ikisinin tam ortasında bir nokta vardır ve bu noktada sağa doğru olan kütle çekimi diğer yöndeki kütle çekimi ile aynıdır.

Ve biz bunu **iç lagranjian** noktası olarak adlandırırız.

Bir başka deyişle, eğer siz orada olsanız, nötron yıldızı sizi diğer yıldızı çekeceği aynı kuvvetle çekecektir.

Sizler nereye gideceğinizi bilmeyeceksiniz.

Eğer bu iç lagranjian noktası bu yıldızın yüzeyinin biraz altında bulunuyorsa, Yani eğer yıldızlar burada onları çizdiğimden biraz daha yakınlarsa, bu durumda bu

yıldızın maddesi nötron yıldızına doğru düşecektir, çünkü bu yöndeki çekme bu yöndeki çekmeden daha büyük olacaktır.

Tabii ki şimdi bu sistem bir ikili sistemdir.

Onların tahta düzleminde döndüklerini kabul edelim. Ve bu yüzden bu madde radyal olarak nötron yıldızına düşemez, spiral şekilde düşer ve nötron yıldızı etrafında yığılma diski diye adlandırdığımız bir durum oluşur.

Bu kütle alıcı yıldız olarak adlandırılır ve bu da kütle aktarıcı yıldız olarak adlandırılır.

Aktarıcı yıldızdan nötron yıldızına kütle transferi söz konusudur.

Oops, şimdi bir sözcüğü yanlış yazdığımı fark ettim; burada bir harf daha olmalı. Ve bu olay meydana geldiğinde muazzam miktarda bir enerji salınır.

Nötron yıldızını patlatmak istiyorum.

8.01 dersi için çok basit bir düşünce. 29.15

Bu nötron yıldızının kütlesi ve bu da nötron yıldızının yarıçapıdır.

Ve çok az miktarda bir kütle alıyorum ve onu oldukça büyük bir mesafeden nötron yıldızı üzerine bırakıyorum.

Çok küçük olan bu madde nötron yıldızına hangi hızla varacaktır? Hemen gözlerinizi kapatmalısınız ve şimdi bana doğru cevabı vermelisiniz.

Bu kütle nötron yıldızına ulaştığı zamanki kinetik enerji $\frac{1}{2} m v^2$ ye eşittir.

Bu kütlenin nötron yıldızına çarpacağı andaki hızıdır ve bu m çarpı M_{ns} çarpı G bölü nötron yıldızının yarıçapı olmalıdır.

Her zaman kütleleri yok edebilirsiniz. Ve böylece nötron yıldızına varacağı andaki hızının karekök 2 çarpı nötron yıldızının kütlesi çarpı G bölü nötron yıldızının yarıçapı olduğunu elde edersiniz.

Bu denklemi hatırlamalısınız.

Bu bizim yörüngeden kurtulma hızı eşitliğimizdi.

Eğer burada iseniz ve sonsuza gidiyorsanız, gerçekten bu hıza ulaşırdınız. Öte yandan sonsuzdan nötron yıldızına düştüğünüz zaman, ulaşacağınız hız tam olarak bu olur.

Bu hız kesinlikle aynı değerde olmalıdır.

Gerçekten sonsuz kadar fazla uzakta olmak zorunda da değilsiniz. Sadece nötron yıldızının çapından çok daha uzakta olmalısınız.

Bu madde nötron yıldızına çarptığı zaman, yayınlanacak olan kinetik enerji $1 \text{ bölü } 2 m v^2$ karedir.

Kinetik enerji ısıya dönüşür ve bu sizlerin nötron yıldızının inanılmaz gücü hakkında bir izlenim sahibi olmanızı sağlar. Eğer bu küçük kütleyi 10 gram kadar alacak olursanız

Onu küçük bir şeker olarak düşünün--

Ve bu küçük şekeri oldukça büyük bir mesafeden nötron yıldızı üzerine atarsınız, açığa çıkacak enerji Hiroshima'da kullanılan atom bombasının enerjisi ile kıyaslanabilir.

Sadece 10 gramlık cisim bir nötron yıldızı üzerine atılıyor.

Bunun oldukça büyük olmasının sebebi hızın çok yüksek olmasıdır.

Eğer nötron yıldızının kütlesini yaklaşık 3 çarpı 10^6 üzeri 30 kg ve nötron yıldızının yarıçapını yaklaşık 10 km alırsanız, bu hızın değerini yaklaşık 2 çarpı 10^6 üzeri 8 metre bölü saniye olarak elde edersiniz ki bu değer ışık hızının yaklaşık %70 i civarındadır.

Ve bu büyük hızdan dolayı, $1 \text{ bölü } 2 m v^2$ kare korkunç derecede büyüktür.

Bu değer çekim potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşümüdür ve daha sonra da ısıya dönüşür.

Şimdi, doğa bu ikili sistemlerin çoğunda olağanüstü yüksek oranda kütle transferi yapmaktadır.

Bunlardan bizim galaksimizde bildiğimiz en azından yüzlercesi var.

dm/dt olarak adlandırdığım kütle transferi oranı, ki bu kütle aktarıcı yıldızdan nötron yıldızına transfer oranıdır.

Bu transfer oranı yaklaşık olarak 10^6 üzeri 14 kilogram bölü saniyedir.

Bu korkunç ölçekte bir kütle transfer oranıdır.

Bunu $1 \text{ bölü } 2 m v^2$ kare ile çarparak kinetik enerji formunda ne kadar enerjinin joule bölü saniye olarak salındığını sizler hesaplayabilirsiniz.

Bu ısı şeklinde yayılır.

Ve ben bunu nötron yıldızının gücü olarak adlandırıyorum ve bu durumda bu kütle transfer oranı için, bu değer yaklaşık 2 çarpı 10^6 üzeri 30 joule bölü saniye, bu da watt tır.

Ve bu güneşimizin gücünden yaklaşık 5.000 kat daha büyüktür.

Fakat bu nötron yıldızının sıcaklığı, serbest bırakılan çok büyük enerjiden dolayı yaklaşık 10 milyon Kelvin derece civarında bir değere ulaşacaktır ve bu yüksek sıcaklıkta, nötron yıldızı neredeyse sadece x-ışınları yayacaktır.

Sizler ve ben çok soğuk vücuda sahibiz. Sadece 300 Kelvin derece.

Bizler spektrumun kızılötesi bölgesinde elektromanyetik radyasyon yayarız.

Bizler sıcak vücutlara sahibiz.

Birini kollarından tuttuğunuzda onu hissedersiniz.

Eğer sizleri 3.000 Kelvin dereceye kadar ısıtsaydım, kırmızıya dönerdiniz.

Ve ışıkları kapatsaydık, sizleri görebilirdim.

Sizler sadece kırmızı ışık yayardınız.

Eğer sizleri 3 milyon dereceye kadar ısıtırsam, x-ışınları yaymaya başlarsınız.

Tabii ki bundan hoşlanamayabilirsiniz, fakat bu bir detaydır.

Sadece elde edeceğiniz radyasyon çeşidinin güçlü bir şekilde sıcaklığa bağlı olduğu gerçeğini vurgulamak istiyorum. Ve 10 milyon derecede sizler neredeyse sadece x-ışınlarıyla ilgilenirsiniz.

Böylece bu ikili sistemler çok güçlü x-ışınları kaynaklarıdır.

Nötron yıldızları etrafında dönerler, biz bunu daha önce tartışmıştık.

Açısal momentum korunur—

Ve onlar güçlü manyetik alanlara sahiptirler.

Nötron yıldızı üzerine düşen madde hali hazırda çekim potansiyel enerji yayımlanmasından dolayı hareket esnasında ısınır ve böylece bu madde çok sıcak olur, genellikle iyonlaşmış halde bulunur.

Ve yüksek derecede iyonlaşmış olan madde manyetik nötron yıldızına istediği her noktadan ulaşmak istese bile bunu yapamaz.

Bunun sebebini 8.02 dersinde öğreneceksiniz.

Ancak madde nötron yıldızına manyetik kutuplardan ulaşabilir.

Ve böylece şimdi göreceğiniz şey manyetik kutuplara sahip bir nötron yıldızıdır, Böylece madde manyetik kutuplardan nötron yıldızına ulaşacaktır ve böylece 2 sıcak nokta oluşturacaktır.

Ve eğer dönme eksenini bu iki sıcak noktadan geçen çizgi ile çakışmazsa ve nötron yıldızı dönüyorsa, x-ışını zonklamalarını göreceksiniz.

Sıcak nokta burada iken, x-ışınlarını göreceksiniz ve sıcak nokta burada iken, x-ışınlarını göremeyeceksiniz.

Ve böylece bu sistemle x-ışını zonklamalarını gözlemleriz.

Şimdi şunu düşünün

x-ışını zonklamaları bir saattir.

Bunlar dönen nötron yıldızlarının saatidir.

Eğer nötron yıldızı bir ikili sistemde ise,

Bunların hepsi bir ikili sistemde olduğundan dolayı, bu x-ışını ikilileri--

Eğer nötron yıldız sizlere doğru yaklaşıyorsa, Doppler kaymasını görürsünüz.

Saatin tıkları birbirlerine biraz daha yaklaşır.

Eğer nötron yıldızı sizlerden uzaklaşırsa, bu durumda saatin tıkları arasında biraz daha fazla fark vardır.

Bu tam olarak Doppler kaymasıyla alakalı bir şeydir.

Böylece x-ışınının sinyallerinin zamanlarını ölçerek, nötron yıldızının Doppler kaymasını inceleyebilirsiniz.

Bu tıpkı daha öne anlattığımız gibi, nötron yıldızının hızını, yörüngenin yarıçapını ve periyodunu elde edebileceğiniz anlamına gelir,.

Bu arada, x-ışınları dünya atmosferi tarafından emildiği için, x-ışını gözlemleri dünya atmosferinin dışında yapılmak zorundadır.

Şimdi bir optik teleskop alıp yeryüzünden bakarsanız, kütle aktarıcı yıldızın optik spektrumunu görürsünüz.

Kütle aktarıcı yıldızda neler görürsünüz? Bu soğurma çizgilerini görürsünüz.

Ve kütle aktarıcı yıldız kütle merkezi etrafında hareket ettiği için, bu soğurma çizgileri ileri geri hareket ederler.

Bu kütle aktarıcı yıldızın Doppler kaymasıdır.

Kütle aktarıcı yıldızın hızını ve yarıçapını bilirsiniz...

Pardon kütle aktarıcı yıldızın yarıçapını değil—

Yörüngenin yarıçapını ve periyodu bilirsiniz.

Şimdi daha önce açıkladığım gibi, her iki yıldızın Doppler kaymasının olduğu bir durum söz konusudur ve hatırlayın, sizlere kütleleri de hesaplayabileceğimizi söylemiştim.

Sizler kütle aktarıcı yıldızın kütlesini ve kütle alıcı yıldızın kütlesini hesaplamıştınız.

Daha da ilerlemeden önce, size bazı slaytlar göstereyim.

Mümkünse perdeyi tekrar indirmek zorundayız--evet

Böyle bir ikili sistemi sizlere göstermek istiyorum.

Böyle bir şeye benzer.

Orada kütle aktarıcı yıldızı görmektesiniz ve nötron yıldızını tam olarak burada görmektesiniz, çok küçük, tabii ki o görünmez.

Ve bu da yığılma diskidir.

Dönerek hareket eder ve madde nötron yıldızı üzerine düşer.

Ve bu slayt kütle aktarıcı yıldız ve dönen madde hakkında fikir veren başka bir slayttır. Ve bu durumda madde döner ve nötron yıldızının üzerine burada düşer.

Ve burada 1971 de elde edilen verileri görüyorsunuz.

Bu sıcak x-ışını noktalarına sahip olan dönen nötron yıldızlarının varlığının açık bir delilidir.

Burada zamanın fonksiyonu olarak gözlenen x-ışınının şiddetini görmektesiniz.

Ve gerçek veriler bu çok ince olan çizgilerdir.

Ve bu kalın çizgiler sizleri sinyalin periyodik olduğunu görmeniz konusunda ikna edebilmek için yazarlar tarafından çizilmiş olan çizgilerdir.

Buradan buraya olan zaman 1.24 sn dir.

Bu cisim Hercules x-1 olarak adlandırılmıştır.

Bu manyetik kutuplardan biridir ve bu ise diğer manyetik kutuptur.

Bir manyetik kutup ve diğer manyetik kutup.

Siz burada açıkça nötron yıldızının dönmesini ve x-ışını zonklamalarını görmektesiniz.

Burada aynı cisimden gelen verileri görmektesiniz, fakat şimdi burada zaman ölçeği çok farklıdır.

Buradan buraya olan zaman 1 gün.

Bu iki gün.

Ve sadece bu veriye baktığınızda, bunu şimdilik bir kenara bırakın, kaynağın aktif x-ışını kaynağı olduğunu göreceğinize dikkat edin.

Artık tabii ki 1.42 saniyelik salınımları göremezsiniz, çünkü zaman ölçeği farklıdır. Fakat burada hiç x-ışını olmadığına dikkat edin. 1.7 gün sonra, yine hiç x-ışını yoktur. 1.7 gün sonra, yine yok.

Ve burada görmüş olduğunuz şey, bizim x-ışını tutulması olarak adlandırdığımız şeydir.

Nötron yıldızı kütle aktarıcı yıldızın arkasına geçtiği zaman, tüm x-ışınları kütle aktarıcı yıldız tarafından soğurulur ve sizler x-ışını tutulması elde edersiniz.

Başka bir deyişle, Doppler kaymasından bağımsız bir şekilde yörüngenin periyodunu x-ışını tutulmasıyla da elde edersiniz.

Ve bu nötron yıldız ikililerinin varoluşu gerçekten bizim tüm astronomi anlayışımızı değiştirdi.

Ve şimdi bu cisimlerin kütlelerinin ne olduğu kısım geliyor? Ben zaten sizlere kara delikler olabilme ihtimalinden bahsetmiştim.

Zonklamalarını görmüş olduğunuz bu nötron yıldızlarının günümüze kadar yapılmış olan kütle ölçümleri, onların kütlelerinin güneş kütlelerinin yaklaşık 1.4 katına yakın olduğunu göstermiştir.

Ve bunun için iyi sebep vardır. Bu bir rastlantı değildir.

1930 yılında, fizikçi Chandrasekhar beyaz cücelerin kütlelerinin güneşin kütlelerinin 1.4 katından daha büyük kütlelerde var olamayacağını öngördü.

Bu Chandrasekhar'a 1983 yılında Nobel ödülü kazandıran bir kuantum mekaniksel hesaplama idi.

Daha önceleri beyaz cücelerden bahsettiğimizi hatırlayın.

Bir beyaz cüce aşağı yukarı dünya ile aynı olan yaklaşık 10.000 km lik bir yarıçapa sahip olur,

Ve bir beyaz cüceye sahip olduğunuzu varsayın. Ve sizler beyaz cüceye madde eklerseniz ve bunun kütlesi güneş kütlelerinin 1.4 katını geçerse bu durumda beyaz cüce çökecek ve bir nötron yıldızına dönüşecektir.

Ve nötron yıldızının kütlelerini ölçerseniz, belki de biraz şaşırtıcı bir şekilde, onların hepsinin kütlelerinin güneş kütlelerinin 1.4 katına çok yakın olduğunu görürsünüz.

Eğer nötron yıldızına daha fazla madde aktarımı yaparsanız, nötron yıldızının kütlesi güneş kütlelerinin 3 katına ulaştığı zaman, bizler nötron yıldızının artık kendini taşıyamayacağına ve bir kara delik olacağına inanırız.

Ve şimdi “bir kara delik nedir” sorusu geliyor? Bir kara delik sizin hayal edebildiğiniz en tuhaf cisimdir ve o aynı zamanda sizin ondan uzak durmak isteyeceğiniz bir şeydir.

Nötron yıldızının aksine kara deliğin boyutu yoktur.

Onun boyutu yoktur fakat onun kütlesi vardır ve o çok fazla kütleye sahiptir--

Kütlesi güneşin kütlesinin 3 katı, 10 katı, 100 katı olabilir.

Onun kütlesi vardır fakat boyutu yoktur.

Kara delik etrafında olay ufku diye adlandırdığımız R yarıçaplı bir küre tanımlarız.

Olay ufkunda olduğunuzu ve kara delikten kurtulmak istediğinizi düşünün.

İhtiyacınız olan hız ne kadardır? Bana bunun cevabını hemen vermeniz gerekir.

Kurtulma hızı $2MG$ bölü olay ufkunun yarıçapı olmalıdır.

Başka bir deyişle, olay ufkunun kendi yarıçapı $2 MG$ bölü c kare ye eşittir.

Eğer bana M nin değerinin ne olduğunu söylerseniz, ben sizlere olay ufkunun yarıçapının ne olduğunu söylerim.

Burada biraz hızlı gittim.

Önemli bir noktayı atladım.

v , M kütlesinden büyük R yarıçapı kadar uzakta olan olay ufkundan kurtulma hızıdır.

Bunu burada görüyoruz

Şimdi, bu kurtulma hızı ışık hızından asla daha büyük olamaz, bu nedenle mümkün olan maksimum değeri c dir.

Ve eğer şimdi denklemin bu bölümüne bakarsanız ve yarıçapı da diğer tarafa alırsanız, olay ufkunun yarıçapının $2MG$ bölü c kare şeklinde elde edersiniz. Ve işte bu denklemi böyle elde ettim.

Çok hızlı gittiğim için özür dilerim.

Eğer M Dünya'nın kütlesi ise, bu durumda olay ufkunun yarıçapı bir santimetredir.

Eğer M Güneşin kütlesi ise, olay ufkunun yarıçapı üç kilometredir.

Eğer M güneş kütlesinin üç katı ise, olay ufkunun yarıçapı on kilometre olacaktır.

Olay ufku kütleyle doğru orantılıdır.

Eğer olay ufkunun içinde olsanız, kara delikten asla kurtulamazsınız. Çünkü kurtulmak için ışık hızından daha büyük bir hıza ihtiyaç duyarsınız.

Bu nedenle, olay ufkunun içinden asla kurtulamazsınız.

Hiçbir şey onun dışına çıkamaz, x-ışınları, radyo ışımaları, ışık, hiçbir şey.

Olay ufkunun içine girince, ondan kurtulamazsınız.

Ondan kaçamazsınız.

Ve böylece şimdi şu soru ortaya çıkıyor. “Kara delikten gelen x-ışınlarını ölçebilir miyiz?” Çünkü eğer kara deliğin dışına hiçbir şey çıkamıyorsa x-ışınlarını nasıl ölçebiliriz? Ve cevap evet şeklindedir. Ölçebiliriz. Çünkü dönen maddeler olay ufkunun dışında olduğu sürece, onlar hala çok sıcak olacaktır.

Çünkü çekim potansiyel enerjisi serbest kalmıştır ve o oldukça sıcak olacaktır ve x-ışınları yayacaktır.

Böylece bir kara deliğin dışında x-ışınları görebiliriz.

Fakat kara delik bir nötron yıldızının aksine yüzeye sahip olmadığından dolayı zonklamaları asla göremezsiniz.

Böylece etrafında dönen 2 sıcak nokta gibi bir şey söz konusu değildir.

Ve şimdi astronomlar için bir problem ortaya çıkar: Eğer kütle alıcı yıldız bir nötron yıldızı, zonklayan bir yıldız değil de, kütle alıcı yıldız bir kara delik ise alıcı yıldızın kütlesini nasıl belirleyebilirsiniz? Şimdi sadece kütle aktarıcı yıldızın Doppler kaymasını ölçebilirsiniz. Çünkü genellikle kütle aktarıcı yıldız oldukça iyi görünür.

O bir optik yıldızdır.

Fakat bir kara deliğin Doppler kaymasını ve zonklamalarını ölçmeniz mümkün olmayacak.

Ancak bir astronom kütle aktarıcı yıldızın kütlesini tahmin edebilirse, bu durumda kütle alıcı yıldızın kütlesini bulabilir.

Başka bir deyişle, kütle aktarıcı yıldız ve nötron yıldızı için iki kütle değeri veren Doppler kayması ölçümleri yerine bu durumda kütle aktarıcı yıldızın Doppler kayması ve bu yıldızın kendi kütlesini elde edebilirsiniz.

Ve bu kütlenin ne olacağı hakkında makul bir fikre sahipseniz, bu durumda kütle alıcı yıldızın kütlesini bulabilirsiniz.

Ve ilk kez 70 lerin başında keşfedilen ve Cygnus X-1 diye adlandırılan çok ünlü bir olay vardır.

Cygnus X-1 5.6 günlük bir yörünge periyodu olan x-ışın ikilisidir.

Kütle aktarıcı yıldızın Doppler kayması ölçümleri yapılmıştır. Ve soğurma çizgilerine ve soğurma çizgilerinin yapısına ve ne tür bir soğurma çizgisi olduğuna bakan astronomlar kütle aktarıcı yıldızın kütlesinin muhtemelen güneş kütlesinin yaklaşık 30 katı olduğunu söyleyebildiler. Bu bilgiler ve Doppler kayması sonucu elde edilen bilgiler vasıtasıyla bunun kütlesini elde edebilirsiniz.

Oh, orada bir kelimedede bir “r” eksik—

Bu bilgiler ışığında bunun kütlesinin yaklaşık güneş kütlesinin 15 katı olduğunu elde ettiler.

Bu 70 lerin başlarında bulunduğu zaman, çoğu insan bunun bir kara delik olması gerektiği sonucuna vardı.

Bu oldukça yoğun bir yıldızdır.

Aksi takdirde ilk etapta x-ışınları yaymayacaktır.

Ve açıkça, eğer bu yoğun cismin kütlesi güneşin kütlesinin 3 katından çok daha büyükse, bu durumda bunun bir kara delik olması hakkında aklımızda hiçbir şüphe olmaz.

Ve o zamandan beri, birçok kara delik x-ışın çiftleri keşfedilmiştir.

Böylece, eğer özetlemem gerekirse şaşırtıcı şey, x-ışını çiftleri gibi çift sistemlerin Doppler kaymalarını inceleyerek, yörünge parametrelerini, yörünge yarıçapını, yörünge periyotlarını, yörüngedeki yıldızların hızını elde edebilir olmanız ve aynı zamanda kütlelerini de bulabilir olmanızdır.

Ve her ne zaman kütle ölçümü yaparsanız ve bu bir nötron yıldızı olduğu zaman ve x-ışını zonklamaları gördüğünüz zaman, bu kütlenin daima güneş kütlesinin 1.4 katına oldukça yakın olduğunu bulursunuz.

Ancak bazı durumlarda, kütlenin oldukça büyük olduğunu bulursunuz.

Şüphesiz kütle alıcı yıldızın Doppler kayması olmaksızın ölçümlerini yaparken, aynı zamanda başka bilgileri de kullanmak zorundasınız. Bu durumda oldukça iyi bir öz güven ile bir kara delik ile ilgilendiğinizden emin olabilirsiniz. Ki bu durumda ancak olay ufkunu tanımlayabilirsiniz.

Ve sizler olay ufkunun içinde olduğunuz zaman asla bir kara delikten kurtulamazsınız çünkü kurtulma hızı ışık hızından daha büyük olabildiği durumda kurtulma söz olabilir.

Bu kurtulma hızıdır.

Eğer bunu c ye eşitlerseniz, bu durumda olay ufkunun yarıçapını çözebilirsiniz ve bu değer bu denklemden elde edilir.

Şimdi sizlere bilinen en eski kara delik x-ışını çifti olan Cygnus X-1 in bir slaytını göstermek istiyorum.

Ekranı indirmeliyim.

Ve işte geliyor.

Bu gerçekten keşfedildiğinde bir bombaydı.

Hala o ilk yayını okuduğumu hatırlıyorum.

Yeri gelmişken, bunu iki kişi birbirinden bağımsız bir şekilde keşfetti.

Onlar bağımsız bir şekilde aynı sonuca vardılar.

Tom Bolton ve Paul Merlin...

İki bağımsız grup.

Tamam, bu optik bir resimdir. Bu bir negatiftir, böylece sizler yıldızları karanlık ve gökyüzünü parlak olarak görüyorsunuz.

Ve tam burada Cygnus X-1 yıldızı var.

O bir kütle aktarıcı yıldız.

Çok büyük ve onun güneş kütlesinden 30 kat daha büyük bir kütleyle sahip olduğuna inanılır.

Burada bir kapalı döngü görmektesiniz.

Bunun yoldaş yıldız olmadığı konusunda bana inanın.

Bu o yıldızın sadece bir görüntüsüdür.

Doğru konumu belirlemek oldukça zordu.

Çeşitli gruplar onun konumunu bulmaya oldukça büyük bir katkıda bulundular.

MIT nin roket uçuşlarından biri oldukça hassas bir konum buldu ve daha sonra o konumun doğru olduğundan hiç şüphe edilmedi.

Yörünge periyodu 5.6 gün bulunduğu zaman, bunun x-ışını kaynağı olduğundan hiç şüphe yoktu.

Ve bu sadece optik ışıktaki kütle aktarıcı yıldızı görebileceğiniz bir sistemdir.

Sizler kütle aktarıcı yıldızların Doppler kaymasını ölçebilirsiniz ve yalnızca bu yıldızın spektrumuna bakarak kütlenin yaklaşık 30 güneş kütlesi olmak zorunda olduğu sonucuna varırsınız ve bu durumda görünmez olan bu x-ışını kaynağının bir kara delik olması gerektiği fikrine varırsınız.