



Karadelğin Gönülsüz Babası

Einstein'in kütleçekim denklemleri karadelik anlayışının temelini oluşturur; ancak ilginç olan, Einstein'in bu denklemleri karadeliklerin varolamayacağını kanıtlamak için kullanmasıdır.

Bilim, bazen uygulayıcılarının yalnız hayal güçlerini değil aynı zamanda amaçlarını da aşan noktaya gelebilir. Buna bir örnek, karadelik teorilerinin gelişimi ve Albert Einstein'in oynadığı roldür. 1939'da Einstein "Annals of Mathematics" adlı dergide "Çok Sayıda Kütleli Oluşan Küresel Simetrik Durağan Bir Sistem Üzerine" adlı bir makale yayımladı. Bu makaleyle Einstein, karadeliklerin, yani çok yoğun olduğu için ağırlıkları ışığın bile kaçmasını önleyen gökssel cisimlerin imkansız olduğunu kanıtladı.

Kaderin cilvesi şu ki; bunun için 1916'da yayımlanan kendi genel görelilik ve kütleçekim teorisini kullandı. Bu teori, karadeliklerin sadece mümkün olduğunu değil aynı zamanda birçok astronomik cisim için kaçınılmaz olduğunu göstermek için kullanılan teoridir. Einstein'in karadelikleri reddinden birkaç ay sonra, ona atıfta bulunmadan J. Robert Oppenheimer ve öğrencisi "Sürekli Kütleçekimsel Büzülme" adlı bir makale yayımladılar. Bu çalışma, Einstein'in görelilik teorisini modern fizikte ilk kez olarak karadeliklerin nasıl oluştuğunu göstermek için kullandı.

Belki daha da komik olan, karadeliklerin ve çöken yıldızların çağdaş yorumunun, Einstein'in kalıtının ta-

mamıyla farklı bir yönü üzerine kuru-luyor olmasıydı. Kuantum istatistiği tarafından belirlenen etkiler olmadan, her astronomik cisim, bizim yaşadığımızı hiç benzemeyen bir evren yaratan bir karadeliğe düşüyor.

Bose, Einstein ve İstatistik

Einstein, kuantum istatistiğini yaratırken o zamanlar tanınmayan genç bir Hintli fizikçi olan Satyendra Nath Bose'dan Haziran 1924'te aldığı bir mektuptan etkilendi. Bose'un mektubuyla birlikte, bir İngiliz bilim dergisi tarafından reddedilmiş olan bir makale metni de geldi. Einstein, makaleyi okuduktan sonra, Almanca'ya çevirdi ve prestijli bir dergi olan Zeitschrift für Physik'e yayımlaması için yolladı.

Einstein neden makalenin önemli olduğunu düşündü? 20 yıl boyunca elektromanyetik ışımanın doğasıyla uğraşıyordu - özellikle çeperiyle aynı ısıya sahip bir kabin içine sıkıştırılmış ışımayla. Yüzyılın başında Alman fizikçi Max Planck, bu "siyah cisim" ışımasının farklı dalga boylarının ya da renklerinin genellikle nasıl değiştiğini tanımlayan matematiksel bağıntıyı bulmuştu. Işıma spektrumunun biçiminin, kabin çeperlerinin yapıldığı maddeden bağımsız olduğu anlaşıldı. Sadece ışımanın ısısına bağlı (Siyah cisim ışımasının bir örneği bütün evrenin kabin yerine geçtiği bir durumda büyük patlamadan arta kalan fotonlardır. Bu fotonların ısısı 2.7260002 Kelvin olarak ölçülmüştür).

Bose, az çok rastlantıyla siyah cisim ışımasının istatistiksel mekaniğini



1900
Max Planck
Siyah-cisim ışımasını
keşfetti.



1905
Albert Einstein, siyah-cisim ışıması üzerine yazılmış bir makalesinde, ışığın foton adı verilen parçacıklar gibi düşünülebileceğini gösterdi.

hesap etmiş oluyordu. Bu ise Planck yasasını, matematiksel olarak kuantum-mekaniğinden çıkarmış olması demektir. Bu çıkarım Einstein'ın ilgisi ni çekti. Ancak o, Einstein olarak olayı bir adım ileri götürdü. Aynı metodları, Bose'un fotonlar için kullandığı kurallara benzer olarak, ağır moleküllerin gazının istatistiksel mekaniğini incelemek için kullandı. Planck yasasının benzerini bu durum için türetti ve tamamıyla dikkate değer bir şey buldu. Eğer parçacık gazı Bose-Einstein istatistiğine uygun olarak soğutulursa, belli bir kritik ısıda bütün moleküller aniden kendilerini dejenere ya da tekil duruma toplarlar.

Bu durum, Bose-Einstein yoğunlaşması olarak bilinir (Bose'un bununla bir ilgisi olmasa da).

İlginç bir örnek, çekirdeğinde 2 proton ve 2 nötron bulunan helyum 4 izotopunun oluşturduğu gazdır. 2,18 Kelvinlik bir sıcaklıkta bu gaz, sürtünmesiz akışkanlık (süper akışkanlık) gibi birçok acayip özelliklere sahip bir sıvıya dönüşür. Geçtiğimiz yıl Amerikalı araştırmacılar, Bose-Einstein yoğunlaşması elde etmek için diğer atom çeşitlerini 1 Kelvin derecenin birkaç milyarlarda birine kadar soğutmanın zorluklarının üstesinden geldiler.

Buna rağmen doğadaki her atom bu yoğunlaşmayı göstermiyor. 1925'te Einstein, yoğunlaşma üstü-

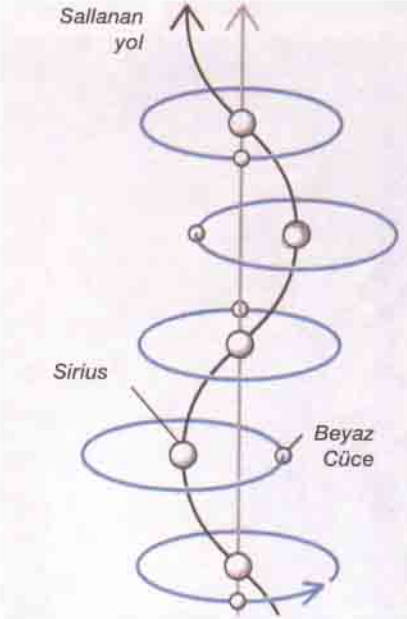
ne makalelerini yayımladıktan hemen sonra, Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli, proton, nötron ve elektron gibi ikinci bir parçacık sınıfının aynı nitelikleri taşımadıklarını gösterdi. Bu sınıftan özdeş iki parçacığın, örneğin 2 elektronun aynı kuantum mekaniği durumunda bulunamayacağını keşfetti. Bu özellik Pauli'nin dışarlama ilkesi olarak biliniyor. 1926'da Enrico Fermi ve P.A.M Dirac Bose-Einstein istatistiğinin benzerini yaratarak parçacıkların kuantum istatistiğini buldular.

Pauli ilkesine göre bu parçacıkların düşük ısıdayken bu dünyada yapacakları en son şey yoğunlaşmaktır. Eğer elektron gazını sıkıştırıp düşük bir sıcaklığa kadar soğutursanız ve hacmini küçültürseniz, elektronlar birbirlerinin yerlerini istila etmeye başlarlar. Ancak Pauli'nin ilkesi bunu yasaklamıştır, dolayısıyla ışık hızına yaklaşan hızlarla birbirlerinden uzaklaşırlar. Elektronlar ve diğer Pauli parçacıkları için bu kaçan parçacıklar tarafından yaratılan basınç - dejenereleşme basıncı- gaz mutlak sıfıra kadar soğutulsa da devam eder. Bunun elektronların birbirlerini elektriksel olarak itmeleriyle ilgisi yoktur. Hiçbir yükü olmayan nötronlar için de aynı şey geçerlidir. Bu saf kuantum fizikidir.

Kuantum İstatistiği ve Beyaz Cüceler

Ancak kuantum istatistiğinin yıldızlarla ilgisi ne? Yüzyılın başında gök bilimciler küçük ve belirsiz olan tuhaf bir yıldız sınıfı tanımlamaya başladılar: Beyaz Cüceler. Bunlar güneş ile aynı kütleye sahip ve ışığının 1/360'ını yayan en parlak yıldız olan Sirius'a eşlik eden yıldızlar. Beyaz cüceler muazzam derecede yoğun olmalı. Sirius'un eşi sudan 61000 kat daha yoğun. Nedir bu garip cisimler? Burada Sir Arthur Eddington devreye giriyor.

Sir Arthur Eddington, kimileri için yanlış sebeplerle kahramandı. 1944'de ölen Eddington evren hakkındaki önemli herşeyin insanın kafasında neler döndüğü araştırılarak anlaşılabilirliğini inanan bir yeni-Kantçıydı ve bununla ilgili popüler kitapları vardı. 1910'lardan 1930'lara kadar Eddington, Einstein'ın güneşin uzak yıldızlardan gelen ışığı eğdiği ile ilgili buluşunu saptayarak doğrulayan iki araştırmadan birini sürdüren 20.yy biliminin devlerinden biriydi. Aynı zamanda 1926'da yayımlanan klasik kitabının da başlığı olan Yıldızların İç Yapısı konusunun ilk olarak anlaşılmasını sağlayan araştırmaları başlatmıştı. Onun için beyaz cüceler en azından estetik açıdan bir meydan okumaydı. Herşeye rağmen bununla uğraştı ve çarpıcı bir fikirle ortaya çıktı.



1915
Spektroskopik çalışmalar yoluyla astronom Walter S. Adams, Sirius'un sönük eşi olan, varlığıyla Sirius'un hareketinin hafifçe bozulmasını sağlayan küçük, sıcak, yoğun yıldızın beyaz cüce olduğunu tanımladı.



1916
Einstein, genel görelilik teorisinin, kütleçekimini tarif eden denklemlerini türetmek yayımladı.



1916
Karl Schwarzschild, çöken bir cismin yarı çapının belli bir değeri için, Einstein'ın kütleçekim denklemlerinin tekilleştiğini, zamanın yok olup uzayın sonsuz hale geldiğini gösterdi.

1924'te Eddington, beyaz cüceyi sıkıştıran kütleçekimsel basıncın bazı elektronları protonlardan ayırdığını öne sürdü. Atomlar bu şekilde "sınırlarını" kaybedecekler ve belki de küçük, yoğun bir pakete sıkıştırılacaklar. Böylece Pauli dışarlama ilkesine göre elektronların birbirini geri tepmesiyle oluşan, Fermi-Dirac dejenerelik basıncı etkisiyle cücenin çökmesi duracak.

Beyaz cücelerin anlaşılması, Temmuz 1930'da 19 yaşındaki Subrahmanyan Chandrasekhar, Madras'tan Southampton'a gemiyle gittiğinde bir adım ilerledi. İngiliz fizikçi R.H. Fowler ile çalışmak üzere Cambridge Üniversitesi'ne gitmekteydi. Eddington da oradaydı. Eddington'un yıldızlar üzerine, Fowler'ın da kuantum istatistiksel mekanik üzerine kitaplarını okuyan Chandrasekhar beyaz cücelerden büyülenmişti. Yolculukta zaman geçirmek için Chandrasekhar kendi kendine sordu: Kendi kütleçekiminin gücüyle çökmeden önce bir cücenin ne kadar ağır olabileceğinin bir üst sınırı var mı? Cevabı bir devrim başlattı.

Bir Beyaz cüce elektriksel olarak yüksüzdür. Öyleyse herbir elektronu için ondan 2000 kat daha ağır bir de proton bulunması gerekir. Sonuç olarak, protonlar kütleçekimsel basıncın yükünü karşılamalıdır. Eğer cüce çökmiyorsa, elektronların dejenerelik basıncı ile protonların kütleçekimsel çekimi dengelenmelidir. Bu denge, pro-

ton sayısını ve bu nedenle de cücenin kütlelerini sınırlar. Bu maksimum kütle değeri Chandrasekhar limiti olarak bilinir ve güneşin kütlelerinin 1.4 katına eşittir. Bundan daha büyük kütleli bir cüce durağan olamaz.

Chandrasekhar'ın buluşu Eddington'u tedirgin etti. Eğer yıldızın ağırlığı güneşinkinden 1.4 kat daha fazla olursa ne olur? Cevaptan memnun değildi. Yıldızın yoğunlaşarak cüceye dönüşmesini önleyen bir mekanizma olmadıkça ya da Chandrasekhar'ın sonucu yanlış değilse ağır yıldızlar kütleçekimsel olarak bir bilinmeyene düşüp siliniyorlar.

Eddington bunu dayanılmaz buldu ve Chandrasekhar'ın kuantum istatistiğini kullanışını değiştirmeye karar verdi. Bu eleştiri Chandrasekhar'ı yıktı. Ancak Eddington'un yanlış olduğunu ve dikkate alınmaması gerektiğini söyleyen Danimarkalı fizikçi Niels Bohr'dan destek gördü.

Garip Bir His

Bazı araştırmacılar, kuantum istatistiği ve beyaz cüceler üzerinde dururken, diğerleri Einstein'ın kütleçekimi üstüne olan çalışmalarını ve genel görelilik teorisini ele aldılar. Einstein denklemlerinin çözümlerini bulmak için çok da çaba harcamamıştı. Madenin etrafındaki kütleçekimini ele alan bölüm tamamlanmıştı. Çünkü kütleçe-

kimi bir parçacığın bir eğri boyunca bir noktadan başka bir noktaya gitmesini sağlayarak zaman ve uzay geometrisini değiştirmekteydi. Einstein için daha önemli olan şey, kütleçekiminin kaynağı olan maddenin sadece kütleçekimsel denklemlerle açıklanamamasıydı. Einstein bulduğu denklemlerin tamamlanmamış olduğunu düşünüyordu. Yine de yıldızlardan gelen ışığın bükülmesi gibi etkileri yaklaşık hesaplayabiliyordu. 1916'da Alman gökbilimci Karl Schwarzschild'in bir yıldızın yörüngesindeki gezegen gibi gerçek bir duruma uyarlanabilen kesin bir çözüm bulması Einstein'ı etkilemişti.

İşlemler sırasında, Schwarzschild rahatsız edici bir şey farketmişti. Yıldızın merkezinden belli bir mesafede matematik anlamsızlaşıyordu. Şimdi Schwarzschild yarıçapı olarak bilinen bu mesafede zaman siliniyor ve uzay sonsuz oluyordu. Yani denklem matematikçilerin dediği şekilde tekil oluyordu. Schwarzschild yarıçapı çoğunlukla cismin yarıçapından küçüktür. Örneğin, Güneş için bu yarıçap 3 km. Bunun yanında 1 gramlık bir bilye için ise 10⁻²⁸ cm.

Schwarzschild, bu yarıçap üzerinde matematiğin anlamsızlaşacağını farkındaydı fakat yine de devam etmeye karar verdi. Bir yıldızın basitleştirilmiş modelini yaptı ve Schwarzschild yarıçapına kadar çökmesi için sonsuz bir basınç gradyanı gerektiğini gösterdi. Böy-



1924

Einstein, Satyandra Nath Bose'un siyah-cisim ışınması üzerine çalışmasını yayımladı. Böylece, fotonlar gibi belli bir sınıf parçacık için kuantum istatistiği geliştirilmiş oldu.



1924

Sir Arthur Eddington, kütleçekiminin elektronları protonlardan söküp aldığını ileri sürdü.



1925

Wolfgang Pauli, bazı parçacıkların tam olarak aynı kuantum durumunda olamayacağını belirten dışarlama ilkesini formüle etti.

lece, bulmuş olduğu tekilliğin pratik bir sonucunun olmadığını söyledi. Ancak bu tartışma herkesi yatıştırmadı. Einstein çok rahatsız oldu çünkü Schwarzschild'ın yıldız modeli görellik teorisinin belirli teknik gereksinimlerini karşılamıyordu. Buna rağmen pek çok kişi Schwarzschild'ın sonuçlarının yeniden yazılarak tekilliğe meydan vermemesinin sağlanabileceğini düşündüler. Fakat, sonuç gerçekten tekil değil miydi? Bu, o sıralarda bir tartışma ortamı yaratmadı çünkü kimse 1939'a kadar bu konuyla ilgilenmedi.

1939'daki makalesinde Einstein, bu konuya ilgisinin Princeton'dan kozmolog Harold P. Robertson ve daha sonra Syracuse Üniversitesi'nde profesör olan asistanı Peter G. Bergmann'la birlikte Schwarzschild yarıçapıyla ilgili tartışmalar sırasında yenilediğini söylemekte. Bu makalede Einstein'ın istediği Schwarzschild'ın tekilliğini tamamen yok etmekti. Makalenin sonunda şöyle yazıyordu: "Bu makalenin temel sonucu Schwarzschild tekilliğinin neden fiziksel gerçeklikte yerinin olmadığını anlaşılması olmuştur." Başka bir deyişle karadelikler varolamaz.

Bunun için Einstein, küresel yıldız kümesine benzer, birbirinin çekimi etkisinde dairesel yörüngelerde hareket eden küçük parçacıklar toplamına dikkatini verdi. Sonra böyle bir şekillenmenin Schwarzschild yarıçapına eşit

bir çapla kendi çekimi altında durağan bir yıldız çöküp çökmeyeceğini sordu. Sonuç olarak bunun olamayacağına karar verdi çünkü, yıldızlar böyle büyük bir çaplı şekillenimlerini durağan tutmak için ışık hızından daha hızlı hareket etmek zorunda kalacaklardı. Aslında Einstein'ın açıklaması doğru olsa da konuyla ilgili değildir. Schwarzschild yarı çapına çöken bir yıldızın durağan olup olmaması farketmez. Çünkü, yıldız nasıl olsa yarı çaptan da daha küçük mesafelere çökmekte. O zamanlar 60 yaşında olan Einstein'ın makalesinde hesap cevabıyla bulmuş olabileceği sayısal sonuçlar, tablolar halinde sunuluyor. Ama makale de, tıpkı hesap cevabları gibi artık tarihte kaldı.

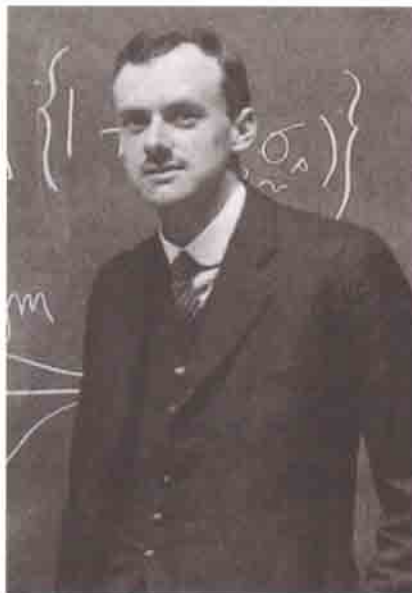
Nötronlardan Karadeliklere

Einstein bu araştırmasını yaparken Kaliforniya'da tamamıyla farklı bir girişim ilerlemekteydi. Oppenheimer ve öğrencileri karadeliklerin çağdaş teorisini yaratmaktaydılar. Karadelik araştırmalarıyla ilgili garip olan şey, tamamıyla yanlış olduğu anlaşılan bir fikirden ilham almasıydı. 1932'de İngiliz deneysel fizikçi James Chadwick, atomik çekirdeğinin elektrik yüksüz bileşeni olan nötronu buldu. Ardından nötronlarla beyaz cücelere alternatif

oluşturabileceği spekülasyonları başladı. Özellikle Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Fritz Zweky ve parlak Sovyet teorik fizikçisi Lev D. Landau başta olmak üzere.

Tartışmalarına göre, yıldızın kütleçekimsel basıncı yeterli derecede artınca, nötron oluşturmak üzere bir elektronla bir proton reaksiyona girebiliyor. Zwicky haklı olarak bu işlemin supernova patlamalarında gerçekleştiğini tahmin etti; sonuç olarak bugün nötron yıldızları pulsar olarak tanımlanıyor. O sıralarda, olağan yıldızlarda enerji üretmek için bugün bilinen mekanizma bilinmiyordu. Bir çözüm, nötron yıldızını olağan bir yıldızın ortasına yerleştirmekti. Günümüzde pekçok astrofizikçi, karadeliklerin kuasarları güçlendirdiğini benzer olarak tahmin ediyorlar.

Bu durumda akla bir soru geliyor: Chandrasekhar kütle limitinin bu yıldızlar için karşılığı nedir? Bu cevabı belirlemek beyaz cüceler için bir limit bulmaktan daha zor. Bunun nedeni ise nötronların hala tamamıyla anlayamadığımız nitelikte bir kuvvet aracılığıyla etkileşmeleri. Kütleçekimi bu kuvvetin üstesinden gelebiliyor ancak kesin bir kütle limiti ayrıntılara duyarlı. Oppenheimer, öğrencileri Robert Serber ve Geogre M. Volkoff'la birlikte bu konuda iki makale yayımladı ve nötron yıldızları için bulunan kütle limitinin, Chandrasekhar'ın beyaz cüceler için



1926

Enrico Fermi ve P.A.M. Dirac, Pauli'nin dışarlama ilkesine uyan, parçacıkların sağladığı kuantum istatistiğini geliştirdiler. Bu tür parçacıklar sıkıştırıldığında dejenerelik basıncı oluşturarak birbirlerinden uzaklaşırlar.

1930

S. Chandrasekhar, Eddington'un yıldızlar hakkında çalışmaları ve kuantum istatistiği ile, beyaz cücelerin üst kütle limitinin Güneş'inkinden 1.4 kat fazla olduğunu ve daha ağır yıldızların çökerek yok olacaklarını öne sürdü. Eddington onunla alay etti.

olan limitiyle karşılaştırılabilir olabileceği sonucuna vardı. Bu makalelerden ilki 1938'de, ikincisi 1939'da yayımlandı. (Yıldızların enerji kaynağı olarak füzyon, 1938'de Hans Bethe ve Carl Friedrich von Weizsäcker tarafından öne sürülmüş fakat bu fikrin kabul edilmesi bir iki yıl sürmüştü. Bu yüzden astrofizikçiler alternatif teoriler üzerinde durmaya devam etmişlerdi.

Oppenheimer tam olarak, Eddington'un beyaz cüceler hakkında düşündüğü şeyi sorgulamaktaydı: Eğer kütle limitini aşan kütleyle sahip bir yıldız çökerse ne olur? Einstein'ın 1939'da karadelikleri reddeden çalışması - ki Oppenheimer ve öğrencileri 5000 km uzakta çalıştıkları için bundan habersizdiler - konuyla ilgili değildi. Ancak Oppenheimer Schwarzschild yarı çapına eşit bir yarıçapa sahip durağan bir yıldızla uğraşmak istemedi. Eğer yıldızın yarıçapı Schwarzschild yarıçapının altına düşerse ne olacağını görmek istedi. Snyder'e bu problem üstünde daha ayrıntılı çalışmasını tavsiye etti.

Olayları basitleştirmek için Oppenheimer, Snyder'e belirli varsayımlar yapmasını, dejenerelik basıncı veya yıldızın dönmesi gibi teknik ayrıntıları gözardı etmesini söyledi. Sezgileri Oppenheimer'a bu faktörlerin hiçbir şeyi değiştirmediğini söylemişti (Bu varsayımlar yıllar sonra hızlı bilgisayarlar kullanan yeni araştırmalara aşıldı. Halbuki Snyder'in sadece eski moda

bir hesap makinası vardı; ama Oppenheimerın varsayımları haklı çıktı). Basitleştirilmiş bu varsayımlarla, Snyder çöken bir yıldızın ne olacağını olaya bakan bir gözlemcinin konumuna bağlı olduğunu buldu.

Çökmenin İki Görüntüsü

Şimdi, bir yıldızdan yeterince uzakta duran olan bir gözlemciden başlayalım. Başka bir gözlemcinin de yıldızın yüzeyi üstünde durduğunu varsayalım. Bu gözlemci, yıldızla birlikte hareket ederken diğer sabit gözlemciye ışık sinyali göndersin.

Sabit gözlemci, hareket halindeki diğer gözlemciden gelen sinyalin elektromanyetik spektrumun kızıl ucuna doğru kaydığını gözlemleyecektir. Eğer sinyallerin frekansı bir saat gibi düşünülecek olursa, sabit gözlemci hareket halindeki gözlemcinin saatinin yavaşladığını kanısına varacaktır.

Gerçekten, Schwarzschild yarı çapında saat yavaşlayarak duracak; sabit gözlemci yıldızın Schwarzschild yarıçapına çökme sürecinin sonsuz zaman alacağını düşünecekti. Bundan sonra ne olacağını söyleyemeyiz, çünkü, sabit gözlemciye göre "sonrası" yoktur. Sabit gözlemciye göre yıldız Schwarzschild yarıçapında donup kalacaktır.

Fizikçi John A. Wheeler, 1967 Araştırmasında verdiği derste karadelik ismini kullanana kadar, bu nesnelere literatürde çok kez donmuş yıldızlar deniliyordu. Schwarzschild geometrisindeki tekilliğin gerçek önemi bu donup kalmadır. Oppenheimer ve Snyder'in makalelerinde gözlemledikleri gibi, bu çöken yıldız "kendini uzaktaki gözlemcilerle herhangi bir iletişime kapatıp, kütleçekimi alanıyla başbaşa kalır. Diğer bir deyişle karadelik oluşmuştur.

Fakat çöken yıldız üzerindeki gözlemciye ne olacak? Oppenheimer ve Snyder'a göre bu gözlemci, olayı tamamen değişik biçimde algılayacaktır. Yıl 1939'du, dünya da paramparça olmak üzereydi. Oppenheimer de savaşa girip insanın yapabileceği en yıkıcı silahı yaptı. Bir daha karadelikler üzerine çalışmadı. Einstein da çalışmadı. Barış geldiğinde 1947'de Oppenheimer Princeton'da İleri Araştırmalar Enstitüsü'nün direktörü oldu. Aynı enstitüde profesör olan Einstein ile ara sıra konuşuyorlardı. Onların karadelik hakkında konuşup konuşmadıklarına dair herhangi bir kayıt yok. Sonraki çalışmalar, kuasarlar, pulsarlar ve ufak X-ışını kaynaklarının ateşlediği düşüncelerle yıldızların gizemli kaderini öğrenmek isteği 1960'ları bekledi.

Çeviri: Selda Ant
Tekin Dereli

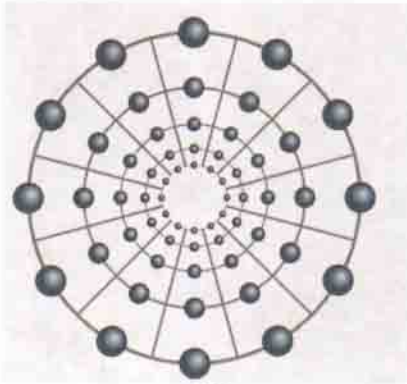
Jeremy Bernstein
"The Reluctant Father of Black Holes", *Scientific American*,
Haziran 1996



1932

James Chadwick nötronu buldu. Nötronun varlığı araştırmacıların nötron yıldızlarının beyaz cücelere alternatif olup olmayacağını düşünmesine yol açtı.

1939'da Albert Einstein'ın "Annals Of Mathematics" adlı dergide yayımlanan makalesi: "Çok Sayıda Kütlelen Oluşan Küresel Simetrik Durağan Bir Sistem Üzerine".



1939

Meslektaşlarıyla tartışırken ortaya attıkları bir konu üzerine Einstein, Schwarzschild yarıçapını tamamen yok etmeye çalıştı. Annals of Mathematics dergisinde yayımlanan makalesinde kara deliklerin varolamayacağı sonucuna varıyor.



1939

J. Robert Oppenheimer ve öğrencisi Hartland S. Snyder çöken nötron yıldızları ve beyaz cüceleri kullanarak bir karadelik nasıl oluşabileceğini gösterdi.