



A. ZEE

KÜTLEÇEKİM

AĞIR BİR KONU ÜZERİNE KISA GEZİNTİ

TÜRKÇESİ: TONGUÇ RADOR



GINKO BİLİM

İÇİNDEKİLER

Türkçe Baskısına Önsöz	7
Önsöz	9
Kronoloji	13
Öndeyiş: Evrenin Şarkısı	15
1. KISIM	23
1) Dört etkileşme arasında arkadaşça bir çekişme	23
2) Kütleçekim gülünç şekilde zayıftır	29
3) Elektromanyetik dalgaların keşfi	39
4) Su dalgalarından kütleçekim dalgalarına	47
2. KISIM	51
5) Ürpertici uzaktan etki	51
6) Büyüklük ve cesaret: Buyurun alanlar	55
7) Einstein, göreliliğin yok edicisi	67
8) Einstein'ın fikri: Uzayzaman eğriliyor	73
9) Kütleçekimsel dalgalar gibi elle tutulamaz bir şeyi nasıl algılarız?	83
3. KISIM	95
10) Yolunu bulmak!	95
11) Simetri: Fizik fizikçiye bağlı olmamalı	108
12) Evet, yolumu bulmak istiyorum ama olay ne?	111
13) Einstein kuramının eylemi	119
14) Olmalı	121
4. KISIM	125
15) Donmuş yıldızlardan Kara deliklere	125
16) Kuantum Dünyası ve Hawking Işınması	133
17) Gravitonlar ve kütleçekimin doğası	141
18) Karanlık taraftan gizemli mesajlar	149
19) Evrene açılan yeni bir pencere	158
Ek: Eğri uzayzaman ne demek?	161
Arkanot	176
Kaynakça	177
Dizin	179

TÜRKÇE BASKISINA ÖNSÖZ

Kütleçekim, Einstein'ın kütleçekim kuramı üzerine yazılmış büyüleyici ve olağanüstü bir kitap. Einstein'ın yüzyıl önce öngördüğü kütleçekim dalgalarının keşfiyle başlayan A. Zee, bize Einstein'ın kütleçekim kuramının derinliğini tanıtmadan önce fiziğin önceki köşe taşlarının, özellikle Newtoncu kütleçekimin ve elektromanyetizmanın özetini sunuyor. Bugün kuramsal fiziğin en yüce ülküsü, geçtiğimiz yüzyılın muazzam başarılarının, yani Einstein'ın kütleçekim kuramı ile kuantum fiziğinin evliliğini sağlamaktır. A. Zee bu çabayı herkesin anlayabileceği şekilde, içine mizah katarak harika bir şekilde aktarıyor. Son olarak kitabı, modern kozmolojinin iki büyük problemi olan kara enerji ve kara madde tartışmasıyla bitiriyor. Şiddetle tavsiye edeceğim bir kitap.

Murat Günaydın

Penn State Üniversitesi

Kütleçekim ve Kozmos Enstitüsü

Temel Kuram Merkezi Direktörü

ÖNSÖZ

Einstein'ın kütleçekim kuramı üzerine, pek yerinde olarak *Ceviz Kabuğunda Einstein Kütleçekimi*¹ başlığını verdiğim ve bu kitabın içinde bundan sonra *GNut* olarak adlandıracağım hacimli bir kitap yazdıktan sonra bir Amazon yerlisinin bir nüktesiyle hafiften canım yandı. Şakayla karışık diyordu ki kitabı sevmesine rağmen taşımak için bir arkadaşının yardımına ihtiyaç duyuyormuş. (Pek çelimsiz biri olmalı! Artık fizik öğrencileri idman salonuna hiç gitmiyor mu? Benim zamanımda olduğu gibi lisans süresince idman derslerini tekrar mecbur kılmalı!) Tabii ki, kitabın ağırlığı² içerdiği konunun içsel güzelliğini ve önemini yansıtıyor.

Neyse. Uzun zamandır Princeton Üniversitesi Yayınevi'ndeki editörüm Ingrid Gnerlich'e yaktığım ağıtlar sonucu değişiklik olsun diye kısa bir kitap yazmam fikrine vardık. Düşündüm ki, Einstein kütleçekimi üzerine uzun bir kitap yazdığımdan, kısa bir kitabı yazmaya hakkım olmalıydı.

1989 yılında *Yaşlı Bir Adamın Oyuncağı*³ başlığını taşıyan ve yine Einstein kütleçekimi üzerine olan popüler bir kitap da yazmıştım. Bu daha sonra, *Einstein'ın Evreni: İş ve Oyun Başında Kütleçekim*⁴ başlığıyla basıldı. Bu kitabın içinde bu nedenle *Toy* kısaltmasını kullanacağım. Yani, bu kitap biraz da oyun ve ceviz kabuğu arasında kalıyor.

Bu projedeki amacımız Einstein kütleçekimi üzerine yazılmış ders kitapları ve popüler yazın arasındaki boşluğa bir köprü

1 Orijinal adı, *Einstein Gravity in a Nutshell*. -ç.n.

2 Aslında Misner, Thorne ve Wheeler'ın klasikleşmiş kitabından daha hafif. MTW 2,5 kilo çekiyor, bu da 2 kiloluk *GNut* yanında ciddi fazlalık demek.

3 Orijinal adı, *An Old Man's Toy*. -ç.n.

4 Orijinal adı, *Einstein's Universe: Gravity at Work and Play*. -ç.n.

çekmekti. Yüzünüz morarana kadar popüler kitaplar okuyabilirsiniz ama Einstein kütleçekimi hakkında gerçekten bir fikriniz olması için, ciddi bir ders kitabına mutlaka başvurma gerekecektir. Aldığım e-postalardan anladığım kadarıyla birçok okur bu köprüden geçmek istiyordu. Kısacası bu kitabı *GNut*'a giden bir ara adım olarak görüyorum.

Aslında, Einstein kütleçekimi için gerekli matematik kuantum mekaniği için gerekenden çok daha basittir.⁵ Çoğu eğri uzay-zamanı betimlemek için gereken matematiksel detayları ek kısmına koydum. Bu ek kendinizi ölçmek için iyi olacaktır. Eğer ekteki ayrıntıları izleyebiliyorsanız *GNut* için hazır olabilirsiniz.

Öte yandan, eğer ekteiler üzerinden yavaşça gitmek istemiyorsanız, bu kitabı Einstein kütleçekimi üzerine yazılmış standart popüler kitaplardan biraz daha ileri seviyedeki popüler bir kitap olarak okumaktan hâlâ zevk alabilirsiniz.

Bir oyuncak ve cevizkabuğu arasında durduğum için, bazı açıklamalarımda biraz daha kısa olabileceğimi düşündüm. Bu kısa açıklamaları ete kemiğe büründürmek istiyorsanız gereken daha fazla matematiktir, daha fazla söz değil. İlgili okuyucuları her zaman *GNut*'a yönlendirebilirim.

Bu kitabın sözleşmesini imzaladıktan bir hafta sonra kütleçekimsel dalgalar keşfedildi ve doğal olarak kitap kütleçekimsel dalgalar üzerinden yürüyor; onlarla başlıyor ve onlarla bitiyor. Algıcın ve gözlem protokolünün ayrıntılı bir tanımını kitaba eklemedim, bunun önemsiz olduğunu düşündüğümden değil ama bu deneyin tasarımında, kuruluşunda, işleyişinde ve nihayet dalgaların gözlenmesinde rol alanların birinci elden sağladıkları kaynaklar en iyisi olacağı için.

5 Eğer çalışılan kuantum mekaniksel sistem oldukça basitse, lisans öğrenimi birinci sınıf seviyesindeki bir doğrusal cebir dersinde ve yine aynı seviyede bir olasılık kuramı dersinde öğrenilenler kuantum mekaniğine giriş için yeterli olabilir. Ek'te sunulan Einstein'ın kütleçekim kuramı örneklerini de basitlikleri sayesinde kolay bir matematiksel dille ifade etmek mümkün oluyor. -ç.n.

Bunun yerine Einstein kuramının kavramsal çerçevesine –ve evet, güzelliğine– odaklandım. Sonuçta ben bir kuramsal fizik profesörüyüm. Pek istemeden, birçok konuyu kitap dışında tutacağım. Örneğin, bu kitapta Einstein kütleçekimi kuramının artık klasikleşmiş üç deneysel sınaması yer almayacak, ya da uzak yıldızların ışığının kütleçekimsel alanda eğri yollardan geçmesini deneylerle göstermiş olup kuramın halkın ilgisine nail olmasını sağlamış bulunan Arthur Eddington⁶ gibi kişiler de. Ama Faraday, Maxwell ve Hertz’den bahsedeceğim, çünkü alan, dalga ve eylem gibi kavramların kuramsal fizik için temel öğeler olduğuna parmak basmak istiyorum. Elimizde elektromanyetik dalga örneği olunca, kütleçekimsel dalgaları, biraz güdümlü olarak olsa da doğıca düşleyebiliriz. Bu kadar kısa bir kitap söz konusu olunca, seçimler yapmak zorundayım.

Teşekkürler

Tekrar olarak, Princeton Üniversitesi Yayınevi’nden çıkan tüm kitaplarım üzerinde emek vermiş Ingrid Gnerlich’e çok müteşekkirim. Verdiği bütün iyi tavsiyelerin yanında, kitabın ilk hali üzerine çalışması için uzun zamandır redaktörlüğümü yapmış olan Cyd Westmoreland’e güvendi. Karen Carter, Chris Ferrante ve Arthur Werneck’e de teşekkür ediyorum. Diğer kitap projelerimde de yaptığı gibi, Craig Kunimoto’nun bilgisayarımı ehlileştirmem için yaptığı yardımlar elzemdi. Kitabı Paris’te bitirdim, ziyaretimin hoş ve verimli olmasını sağlamak için yaptıkları üzerinden Henri Orland’a pek borçlandım. Saclay’deki araştırma enstitüsüne ve Ecole Normale Supérieure’e misafirperverlikleri için ve kalışımın maddi desteğini Ecole Normale Supérieure Vakfı üzerinden sağladığı için Jean-Philippe Bouchaud’ya teşekkür ederim. Söylemeye pek gerek yok ama, her zamanki gibi, eşim Janice’in desteğini takdir ediyorum. Kitabı teslim ettikten biraz sonra, tesadüfen İsrail’de dersler vermek üzere ayrıldım.

6 Bir iki yerde geçerken bahsini etmek dışında.

Kudüs'teki Musevi Üniversitesi'nde Einstein arşivlerini ziyaret etme olanağım oldu. Kuramsal bir fizikçi için, Einstein'ın kütleçekim kuramını kendi el yazısıyla⁷ ifade edilmiş olarak görmek, neredeyse dinsel bir deneyim.

7 Einstein'ın elyazmalarının fotokopileri, H. Gutfreund ve J.Renn'in yazdığı kitapta bulunabilir: *The Road to Relativity*, Princeton University Press, 2015.

KRONOLOJİ

Galileo Galilei	1564-1642
René Descartes	1596-1650
Pierre Fermat	1601 veya 1607/08-1665
Robert Hooke	1635-1703
Isaac Newton	1642-1726/27
Edmond Halley	1656-1742
Leonhard Euler	1707-1783
John Michell	1724-1793
Joseph Louis de Lagrange	1736-1813
Pierre Simon de Laplace	1749-1827
Thomas Young	1773-1829
Michael Faraday	1791-1867
Hermann Ludwig von Helmholtz	1821-1894
Bernhard Riemann	1826-1866
James Clerk Maxwell	1831-1879
Loránd Eötvös de Vásárosnamény	1848-1919
Hendrik Lorentz	1853-1928
Heinrich Rudolf Hertz	1857-1894
David Hilbert	1862-1943
Hermann Minkowski	1864-1909
Karl Schwarzschild	1873-1916
James Jeans	1877-1946
Albert Einstein	1879-1955
Fritz Zwicky	1898-1974
John Archibald Wheeler	1911-2008
Richard Feynman	1918-1988
Joseph Weber	1919-2000
Vera Rubin	1928-2016

ÖNDEYİŞ

EVRENİN ŞARKISI

Birkaç kısık ses

Sonunda, en sonunda, uzun bekleyiş sona erdi: Dünya gezegenindeki biz insan ırkı beraberce evrenin şarkısını duyduk.⁸ Evet, oldukça kötücül olsak da zeki bir tür olan biz, ilksel çorbadan hayatın çıkmasından birkaç milyar yıl sonra, artık uzayzaman dalgalanmalarını gözlediğimizi gurur duyarak ilan edebiliriz.

Evrenin şarkısını dinleyen uygarlıkların arasına artık katıldık. Bunun, fizikçilerin Aristotelesçi “elma eve dönmek istiyor” söylemini aşıp kütleçekimi ilk anladıklarından sadece birkaç yüz yıl sonra olması da çok etkileyici.

Einstein tekrar zafer kazandı.

İki kara delik son öpücük için birbirlerine yaklaşıyorlar

Derin uzayın sessizliğinde, bizden 1,3 milyar ışıkyılı uzakta, iki kara delik birbirlerini ölümcül şekilde çektiler. Birbirlerine yaklaştılar, birbirlerinin etrafında döndüler, sarılıp öpüştüler ve hızlıca tek bir kara delik oldular. Bu süreçte, kütleçekimsel dalgalar aracılığıyla inanılmaz bir enerji patlaması yaydılar.

İşte bu kütleçekimsel enerji patlaması dışarı doğru hareket etti ve evrende yayılmaya başladı, tıpkı bir su birikintisine atılan bir taşın dairesel dalgalar yayılmasına sebep olması gibi. Bu 1,3 milyar yıl önce olmuştu, dinazorların ortaya çıkmasından⁹ çok önce ve insanlar uyuyan bir trilobit’in rüyasında sadece bir se-raptan ibaretken.

8 11 Şubat 2016 tarihinde açıklandı.

9 Dinazorlar 0,24 milyar yıl önce yaşamışlardı.

Çağlar akıp giderken, o graviton¹⁰ sürüsü ışık hızıyla evrenin neredeyse anlaşılmaz devasallığı içinde yoluna devam etti; gitgide dünyamıza yaklaştı. Dünya'ya 14 Eylül 2015 yılında vardılar ve kilometrelerce uzunluğunda olup insan teknolojisinin bildiği en ileri teknolojilerle donatılmış, biri Livingston, Louisiana'da diğeri Richland, Washington'da olan iki cüsseli algıç tarafından gözlemlendiler.¹¹ Bu merkezler birbirlerinden oldukça uzak olduklarından dalgayı milisaniye farkla algıladılar. Tıpkı seslerin iki kulağınıza geliş zamanları arasındaki küçük farktan ötürü ses kaynağının yönünü belirleyebilmeniz gibi, fizikçiler de bu birleşen kara deliklerin yönünü kabaca tespit edebildiler.

Uzayzaman can buluyor

1915 yılında, bu gravitonlar gezegenimize doğru hareket ederken –yayınlanmalarından 1,3 milyar yıl sonra, sadece yüz yıllık yolları kalmışken!– Albert Einstein (1879-1955) adındaki bir dünyalı genel görelilik olarak da anılan, kütleçekim kuramını bitirdi. Temel olarak kütleçekim diye bir şeyin olmadığını, sadece eğri uzayzaman olduğunu söyleyerek, fizik dünyasında şaşkınlık yarattı.

Fizikçiler etkileyici bir sır keşfetmişlerdi: Kütleçekim dediğimiz şey aslında sadece uzayzaman ve enerji arasında bir danstan ibaretti. Birisi şöyle ya da böyle eğriliyor diğeri şuraya buraya gidiyordu. Uzayzaman ve enerji arasındaki bir ikili dans: Her formdaki enerji, siz ve ben gibi.

Enerji maddedir ve madde enerjidir. Bunu bize 1905 yılında aynı Einstein özel görelilik kuramıyla göstermişti: $E = mc^2$, belki de fizik hakkında en yaygın olarak¹² bilinen formüldür!

10 17. Bölüme bakınız.

11 Türünün ilk örneği olan bu gözleme GW150914 katalog numarası verildi.

12 Bu formül Einstein'ın özel görelilik üzerine yazdığı orijinal makalelerde bulunmuyor. Einstein bunu birkaç ay sonra keşfetti ve iki sayfalık bir makalede şu formülü yazdı

Yani, uzun zamandır uzayzamanın eğrilebileceğini biliyoruz. Buradan uzayzamanın aynı zamanda dalgalanabileceği de çıkarılır. Birinden diğerinin çıkarsanması Einstein'ın gözünden kaçmamıştı. Hemen bir yıl sonra,¹³ 1916 yılında, bir makalede¹⁴ kütleçekimsel dalgaların varlığına işaret etti.

Dalgalar ve katılık

Dalgalar her tarafımızdalar. Bir jöle parçasına kaşıkla vurun, içinde gezinen dalgaları göreceksiniz. Deniz üzerini yalayan rüzgâr suyun sürekli dalgalanmasına yol açar. Bir şarkıcının ses

$$K_o - K_1 = \frac{L}{V^2} \frac{v^2}{2}$$

Bu da ne! Sizce $E = mc^2$ 'ye benzemiyor mu? Einstein bize diyor ki, v hızında giden bir nesne ışıma yaptığında kinetik enerjisi değişir. Modern dilde yazarsak $\delta K = \frac{\delta E}{c^2} \frac{v^2}{2}$. (Yazdığı makalede, L radyasyonla yayılan enerjiyi ve V ışık hızını ifade ediyor.) Birkaç paragraf sonraysa, “Bu kuramı enerjisi yüksek derecede değişken nesneler (mesela, radyum tuzları) kullanarak sınamanın yolu kapalı değildir.” diyordu. Einstein bir arkadaşına heyecanlı bir şekilde şöyle yazıyordu: “Elektrodinamik üzerine yazdığım makalenin bir sonucunu daha fark ettim. ... Bu fizik eğlenceli ve baştan çıkarıcı; ama bildiğim şu, bence Tanrı buna çok gülüyor ve beni burnumdan çektiştiriyorur.”

Hepimizin bildiği gibi, Tanrı Einstein'ı burnundan çekistirmiyordu.

Uzun zaman sonra, 1946 yılında, Einstein çok zarif bir ispat yayınladı. Maalesef bu ispat modern ders kitaplarında bulunmamaktadır (Einstein'ın 1946 ispatını 1905 yılında yayınladığı orijinalinden çok daha fazla beğeniyorum.) ve bu yüzden unutulma tehlikesiyle karşı karşıyadır. *GNut* sayfa 232'de bulabilirsiniz. İspat aynı zamanda A. Einstein'ın *Out of My Later Years* (Philosophical Library, 1956) adlı eserinin 125. sayfasında da yer alıyor.

- 13 İki yıl sonra, Einstein 39 olmuştur ve yaşlanmanın etkileri üzerine şöyle yazar: “Akıl kötürümleşiyor ama parlak ün kireçlenmiş kabuğa hâlâ sarılı duruyor.”
- 14 Dikkate değer şekilde modern bir makaledir. Kuramdan, kütleçekimsel dalgaları neredeyse modern bir ders kitabının izlediği aynı yolları izleyerek açık mantıksal adımlarla çıkarır.

telleri havayı sıkıştırır ve bir ses dalgası dışarı doğru hareket eder. Sıkıştırılabilen her ortamda dalgalanmalar mümkündür.

Uzun metal bir çubuk düşünelim. Bir ucuna vurun. O uçtaki atomların normal dizilişleri, pek az da olsa, sıkışır. Akabinde eski konumlarına dönmeye çalışırken diğer atomları sıkıştırırlar. Böylelikle enformasyon çubuk boyunca bir sıkıştırma dalgası olarak yayılır. “Yayalım arkadaşlar: Biri çubuğun ucuna vurdu.”

Dalganın yayılma hızı ortamın elastikliğine ya da bunun tersi olarak, katılığına bağlıdır. Çubuk ne kadar katıysa, dalga da o kadar hızlı yayılır. Katılığı atomların eski yerlerine dönmek için pek istekli davranmaları olarak anlayabiliriz.

Kuramsal fizikçiler durumları sınırlara taşımayı pek severler. Sonsuz katılıkta bir cisim düşünelim. Bu durumda tanım olarak, bir tarafına vurduğunuzda, bütün cisim bir bütün olarak hareket eder ve cismin bir tarafına vurulduğu bilgisi diğer tarafa anlık olarak iletilir. Ama Einstein’ın özel görelilik kuramına göre, enerji ya da enformasyonun ışık hızı c ’den¹⁵ daha hızlı hareket edemeyeceğini biliriz. Buradan da fizikte sonsuz katılıkta cisimler olmayacağı çıkar.

Son katı cisim de yok oluyor

Bu nokta daha sonraki tartışmamızda merkezi önem tutuyor, çünkü Newtoncu uzayzaman kesin olarak katıdır. Newton’a göre (burada bu büyük adama biraz haksızlık ediyorum, ileride göreceğiz), kütleçekim anlık olarak iletilir.

15 Bu c harfini daha önce de ne ifade ettiğini söylemeden kullandım. Bu arada, c celeritas* (sürat -ç.n.) anlamına geliyor.

* Bu notasyon ilk olarak Weber ve Kohlrausch tarafından, Albert’in doğumundan çok önce, 1856 yılında kullanılmıştır. “Celeritas” Latince olduğundan Yunancada “maydanoz” kelimesinden gelen “celery” (ke-reviz -ç.n.) ile bir alakası yoktur. Bu arada “Kohl” Almancada “lahana” anlamına gelir.

Buradan da Einstein uzayzamanın katı değil elastik olduğunu ifade etmiş olduğundan, kütleçekimsel dalgaların kaçınılmaz olduğu çıkar. Bu yüzden kuramsal fizikçilerin ezici çoğunluğu¹⁶ kütleçekimsel dalgaların varlığına uzun zamandır inanıyorlardı.

Dalgaların ve katılığın karşılıklı içinde olduklarını gündelik terimlerle de anlayabiliriz. Kıvrılmalar –göbek dansını düşünün– esneklikle alakalıdır ve katı ve sert birinin dalgalanmasını bekleyemeyiz.

Uzayzamanın klasik fiziğin yerinden edilen son katı cismi olduğunu söyleyebiliriz.

Bazen biri öbürünün önünde, bazense öbürü önde

Uzayzamanın dalgalanabilecek kadar elastik olduğunu açıklamasından sonra bir raportör Einstein’a neden bu kadar ileri görüşlü, deneycilerin neden bu kadar önünde olduğunu sormuştu. İyi bir soru ama daha iyi bir soru neden deneylerin bu konuda kuramın oldukça gerisinde olduğudur.¹⁷ Fizikte, bazen kuram deneyin önünde gider, bazense tersi olur. İdeal durumda, fiziğin ilerlemesi için ikisi el ele düzgün bir hızla gitmelidir.

Aradaki fark pek ender olarak yüz yıl gibi bir zamanla ölçülecek kadar büyüktür!¹⁸

Kütleçekimsel dalgaları keşfedebilmemiz için yüzyıl süren muhteşem bir teknolojik ilerleme gerekti. Bunun sebebi, ileride

16 Kütleçekimsel dalgaların yakında gözleneceği dedikoduları yayılmaya başladığında, arkadaşlarıma kütleçekimsel dalgalara inanmayan bir kuramsal fizikçinin adını vermeleri için e-postalar atmıştım. Kimse bir isim veremedi. Yine de fiziğin deneysel veri üzerine kurulu olduğunu hatırlamak gerekir.

17 Bu noktaya geri döneceğiz.

18 Uç bir örnek olarak Demokritos’un (Adı “halk tarafından seçilmiş” anlamına gelir, M.Ö. 460-M. Ö. 370) atomları öne sürmesini verebiliriz. Doğrulanması için iki bin yıl geçmiştir. Günümüzde, sicim kuramının deneysel olarak doğrulanıp doğrulanmayacağını kimse bilmiyor ya da doğrulanacaksa bunun ne kadar zaman tutacağını.

göreceğimiz gibi, kütleçekimsel bir dalganın dünyaya eriştiği zaman son derece zayıflamış olmasıdır. Bunu anlamak için de gündelik deneyimlerimize rağmen, kütleçekimin son derece zayıf olduğunu takdire etmemiz gerekir. Bu konu önümüzdeki iki bölümde açıklanacaktır.

Siz kütleçekimsel dalga diyorsunuz, ben kütleçekim dalgası diyorum

Kütleçekimin yarattığı bu dalgaların kütleçekim dalgaları olarak anılması gerektiğini düşünebilirsiniz ama maalesef tarih araya giriyor: Su birikintilerinde ya da okyanuslarda oluşan su dalgaları, Einstein sahneye çıkmadan çok önceleri, “kütleçekim dalgaları” olarak anılmıştı bile. Bir dalga tepesindeki fazla su kütleçekim tarafından aşağı çekilir ve yakınındaki boşluğu doldurur. Bunu biraz fazla kaçırır ve yeni bir tepe oluşmasına yol açar. Böylece dalga ilerler. Buradaki fizik tamamen Newtoncu ve açıktır.

Yani, fizik yayınları ve ders kitapları¹⁹ bu konuştuğumuz dalgaları “kütleçekimsel dalga” olarak anarlar. 1918 yılındaki makalesinde²⁰ Einstein “Gravitationswellen” terimini kullanmıştır. Şekle bakınız.

Popüler bir fizik kitabının hangi terimi kullanması gerektiği üzerine meraka düşmüştüm. Birine baktım²¹ ve gördüm ki yazar iki terimi de, bazen aynı sayfada, kullanıyordu. Sonra, Einstein kütleçekimi üzerine yazdığım kendi popüler kitabıma²² baktım ve “kütleçekim dalgaları” terimini kullandığımı hayretle gördüm.

19 Benim *GNut* dahil.

20 Einstein 1916 makalesinde ciddi bir hata yapmıştı, bu da İngiliz fizikçi Arthur Eddington’ın kütleçekim dalgalarının düşünce hızıyla hareket ettiğini söylemesine yol açmıştı. Einstein’ın 1918 makalesi, buna karşın, modern ders kitaplarındaki yöntemin ana yönlerine yakındır.

21 M. Bartusiak, *Einstein’s Unfinished Symphony*.

22 A. Zee, *An Old Man’s Toy* (Bu kitapta *Toy* olarak kısaltılacaktır.)

Etraftaki her terimi kısaltmaya yol açan Amerikan²³ takıntısını göz önüne alırsak “kütleçekim dalgası” teriminin zamanla öne çıkacağından hiç şüphe etmiyorum. İşin özü, su dalgaları fizikçilerin pek küçük bir alt kümesinin ilgi kaynağıdır.

Aynı zamanda fizikçileri dışarıda tutarak insanlara sordum. Hepsi “kütleçekim dalgası” terimini “kütleçekimsel dalga” terimine yeğ tutuyor.

Bu kitapta “kütleçekim dalgası” diyeceğim, araya bir iki “kütleçekimsel dalga” atabilirim.

23 Tabii ki bu her zaman Amerikan bir davranış değil: Örneğin “kiwi” terimi “Çin Bektaşî Üzümlü” terimini alaşağı etmişti.