

## Einstein'ın Gravitasyon Kuramı'nın Önümüzdeki On Yılı

Prof. Dr. Metin Gürses  
TÜBA Asli Üyesi  
gurses@fen.bilkent.edu.tr

Geçen Şubat ayı içinde [2004], Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bizleri İzzet Baysal Üniversitesi yerleşkesinde iki gün süreyle misafir ederek, Temel Bilimler (Matematik, Fizik; Biyoloji, Kimya, Yer Bilimleri ve Astrofizik) alanında 2023 yılına dek ne tür gelişmeler olabilir amacıyla Türkiye'de ilk defa bir *Temel Bilimler Öngörü Çalışması* yaptırdı. Bu çalışmanın sonuçları henüz yayınlanmadı. Ancak belirtelim ki, bu dönem içinde Türkiye'den bir matematikçinin *Fields* madalyası ve bir fizikçinin de *Nobel* ödülü alacakları öngörüldü. Bu öngörüler gerçekleşir ya da gerçekleşmez tartışılır ama bazı gelişmeler var ki bunların gerçekleşmesi artık çok yakınımızda.

Yirminci yüzyılın ilk çeyreği Fizik'in altın dönemi idi. *Einstein'in genel görelilik kuramı ve kuantum mekaniği* bu dönemde icat edildi. Fizik'in en derinlerini ve en uzaklarını ilgilendiren bu kuramlarda bazı öngörüler kuramsal olarak ortaya atılmıştı. Şu ana kadar yapılan deneyler her iki kurama da "Hayır" demedi. Epey bir süredir kuantum fiziğini ve genel görelilik kuramını test edecek yeni deney projeleri sürmektedir. Bunların bir tanesi, kuantum mekaniğinin ileri bir safhası olan elektromanyetik ve zayıf etkileşimleri birleştiren *standart teoriyi* ilgilendiren ve 2007 yılında CERN'de yapılacak olan LHC-proton-antiproton hızlandırıcısındaki yüksek enerji fiziği deneyi. Sabırsızlıkla beklenen bu deney ile, *Higgs skalar parçacığı* ve süpersimetri gibi bazı önemli soruların cevapları bulunacak. Böylece Salam-Weinberg-Glashow tarafından inşa edilen standart teori iyice güçlenmiş olacak. Umarım bir uzman arkadaşımız ileride bu konuda bizi *Günce*'de aydınlatır. Ben, bu kısa yazı çerçevesinde, önümüzdeki on yıl içinde (belki de 21. yüzyılın ilk çeyreğinde) önemli gelişmelere yol açabilecek ve yeni bir altın dönem diyebileceğimiz *gravitasyonel dalga, gravitasyonel ışınma alanındaki gözlemlerle ilgili gelişmeleri* özetlemeye çalışacağım.

Einstein'ın gravitasyon kuramının temeli, 19. Yüzyıl Alman matematikçileri Gauss ve Riemann'ın geliştirmiş olduğu geometriye (*Riemann geometrisi*) çok bağlıdır. En basit Riemann geometrisi, *Minkowski geometrisi* olarak bildiğimiz düz bir geometridir. Özel görelilik kuramı bu geometri üzerine kuruludur. İşte, bir taraftan özel görelilik kuramının başarısı öte yandan Newton fiziğinin açıklayamadığı gezegenlerin yörünge eksenlerinin kayması problemi, Einstein'ı *genel görelilik kuramının* inşasına götürdü. 1915 yılında geliştirilen genel görelilik kuramı, yalnız bahsedilen problemi çözmedi. Ancak, Newton fiziğinin çözemeyeceği pek çok olayın da çözümlerinin ipuçlarını verdi, yani yeni öngörülerde bulundu. Bunlardan bir tanesi de ışığın sapmasıdır. 1919 yılında bu sapma ölçülmüştü. O günkü deney sonucu ile öngörülen sapma arasındaki fark %15 civarındaydı; ama şimdi binde birler civarındadır. Sonradan yapılan diğer deneyler, Einstein'ın genel görelilik kuramının bütün öngörülerini onayladı. Yalnız güneş sistemi içinde yapılan bu gözlemler Einstein'ın *genel görelilik* kuramı ile sonradan türetilen gravitasyon kuramlarını birbirlerinden ayırmakta yeterli olamadı. Bu nedenle gravitasyonel dalga gözlemleri önemlerini korumaktadırlar. Aslında, dolaylı da olsa gravitasyonel ışınma, Taylor ve Hulse tarafından 1974'te gözlemlendi. Çift yıldızlarda dönme periyodunda (gravitasyonel

ışımadan dolayı) azalma olacağı öngörülmekteydi. Taylor ve Hulse, kendilerini 1993 Fizik *Nobel Ödülü*'ne götüreceği olan PSR 1913+16 çift atarcasındaki ölçümleriyle bunu kanıtladılar. Ancak henüz gravitasyonel ışımaya doğrudan gözlemlenemedi.

Gravitasyonel dalgalar, elektromanyetik dalgalar gibi kaynağı oluşturan atom ve elektronların hareketinden dolayı değil, kaynağın bütün halinde (düzgün olmayan) hareketinden doğar. Dolayısıyla gravitasyonel dalgalar, elektromanyetik dalgalardan değişik olarak kaynağın izlerini de taşır. Buna örnek olarak karadeliklerin iyi bir gravitasyonel dalga yayıcı oldukları bilinmektedir. Gökada merkezlerinde kütleleri çok fazla (binlerce güneş kütesine sahip) olan karadelikler olduğu gibi, gökadalarda dağınık şekilde bulunduğu bilinen pek çok (birkaç güneş kütleli) karadelikler de bulunmaktadır. Gravitasyonel dalga, bu yıldızların değişik özelliklerinin de ortaya çıkarılmasında ve izlenmesinde çok önemli rol oynayacaktır. Diğer taraftan elektromanyetik ışımaya (kozmetik mikrodalga fon ışınması) ve çekirdek fiziği sayesinde Büyük Patlama Modeli çerçevesinde evrenin ilk 3 dakikasından sonrasının nasıl geliştiğini anlayabiliyoruz. Eğer ölçebilirsek, gravitasyonel dalgalarla, evrenin ilk şişme anına ( $10^{-24}$ sn) kadar olan kısmını da anlayabileceğiz.

Gravitasyonel dalga gözlemleri Weber'den (1960) bugüne kadar pek çok deney grubunun ilgisini çekmiştir. Dar bir frekans aralığında çalışan çubuk şeklindeki aliminyum antenlerle yapılan deneyler, hiç bir zaman istenilen hassaslığa ulaşamadı. Bunun nedeni, gravitasyonel etkileşmenin çok zayıf olmasıdır. Kıyaslamak gerekirse, elektromanyetik ve gravitasyonel etkiler arasındaki oran  $10^{40}$  civarındadır. Bundan dolayı, örneğin iki elektron arasındaki etkileşim ele alındığında gravitasyonel etki ihmal edilebilir. Bu nedenle, teknolojinin de gelişmesi ile birlikte gravitasyonel dalga gözlemi için gereken hassaslıkta yeni antenler geliştirildi. Bunlar L tipi lazer antenleridir (lazer interferometreleri). Aslında bu tip antenler yeni değildir. İlk olarak Michelson Morley (1887) tarafından, ışığın farklı yönlerde hızının aynı olup olmadığını anlamak amacıyla kullanılan bu düzeneği, bugün gravitasyonel dalga anteni olarak kullanan pek çok gözlem grubu bulunmaktadır. Bunlar LIGO (ABD, iki yerde Livingston (LA) ve Hanford'da (WA)), GEO600 (İngiliz-Alman ortak, Hanover'de), TAMA300 (Japonya, Tokyo'da) gözlem gruplarıdır. Bu gruplar bir ağ oluşturarak ilk gözlemlerini aynı zaman aralıklarında 2002 ve 2003 başlarında yaptılar. Aynı anda veri almanın pek çok yararı vardır. Bunların başında ise kaynağın konumunun tesbitindeki teknik kolaylıklar ve sonuçlara güvenilirlik gelir. İtalyan-Fransız ortak anteni olan VIRGO (Pisa'da) ve AIGO (Avustralya, Perth) da aynı ilkeyle çalışırlar ve yakında bunların da ağa katılması beklenmektedir. LIGO ve GEO600'ün aynı zamanda yaptıkları ilk gözlem, *Science* 1 (S1), bir gözlemden çok hem gruplar arası eşgüdümü sağlamak hem de aynı zamanda bir hassaslık ölçümü çalışmasıydı. S1'in sonuçları 2004 ün başlarında yayımlandı. Her grup, kendi deneyinin verilerini ve ölçüm hassaslığını bu yayınlarda ilan etti. Bu deneylerde, gravitasyonel dalga gözlenmesi beklenmiyordu ve neticeler de beklendiği gibi bu yönde oldu. *Science* gözlemleri devam etmektedir, S2, S3, vs.

L tipi antenlerde, L'nin iki kolunda (uzun vakum tüplerde), köşeden her ikisi de  $\ell$  kadar uzaklıkta olan ve boşlukta serbestçe sallanan aynalar bulunmaktadır. Köşede ise, lazer ışığını iki kola yansıtan ayırıcı bulunmaktadır. Gravitasyonel dalga, bir ortamdan geçerken zayıf da olsa her tür maddeyi etkiler ve cisimler

arası uzaklıkları değiştirir. Bu çok küçük bir etkidir. Eğer, bir şekilde  $h$  gravitasyonun (birimsiz) etkisini gösteriyorsa, ayna uzaklıklarında ölçülecek büyüklük  $\Delta l = h l$ ' dir. Lazer ışınları ile bu uzaklık ölçülebilir. Hangi kaynaktan geldiğine bağlı olarak  $h$ 'nin sayısal değeri farklıdır. Dolayısıyla ölçülecek olan ayna uzaklık farkları,  $\Delta l$ , gravitasyonel dalga kaynağını belirleyecektir.

Gravitasyonel ışın yapması beklenen gök olaylarından bazıları, nötron-nötron, nötron-karadelik ve karadelik-karadelik gibi çift yıldızlarının birleşmesi, birinin diğerini yutması ve çarpışmasıdır. Bu olaylarda beklenen  $h$  değerleri  $10^{-21}$  ile  $10^{-22}$  arasındadır. Bunlar dışında gözlenmesi düşünülenler, süpernova ve yıldız patlamalarında (ve doğumlarında), evrenin başlangıcında oluşan gravitasyonel ışımalarıdır. İlk gözlemlerde, S1'de, üst sınırlar ortaya çıkmıştır. Örneğin patlama türü astrofizik olaylarında ortaya çıkan gravitasyonel dalgalar için  $h < 5 \times 10^{-17}$ , PSRJ1939 gibi periyodik kaynaklardan gelen dalgalar için ise  $h < 2 \times 10^{-22}$ 'dir. Livingston'daki (ABD) interferometrenin kolları 4 kilometre uzunluğundadır, dolayısıyla, örneğin bir karadelik-karadelik çarpışmasından oluşan gravitasyonel dalga gözlemi için aynalarda  $\Delta l = 10^{-17}$  cm mertebesinde değişimlerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu çok küçük bir uzaklıktır ama yeni teknolojilerle bu mertebedeki değişimleri ölçmek mümkün olabilecektir. LIGO'nun gelişmiş hali olan, sismik ve termal titreşimlerden daha çok arınmış ve hassaslığı  $10^4$  kat artırılmış ileri LIGO interferometresinin 2-3 yıl içinde inşa edilmesi beklenmektedir. Böylece, ilk ciddi gravitasyonel dalga gözlemleri 2006 yılından sonra yapılabilecektir. Dikkat edilirse cisimler arası uzaklık ne kadar fazla olursa, ölçülecek olan büyüklük de o oranda artmaktadır. Bundan ve başka nedenlerden (sismik ve termal titreşimlerden arınmak gibi sebeplerden) dolayı, 2020 yılına kadar inşası planlanan uzay interferometresi, LISA yeryüzü laboratuvarındaki interferometrelerden çok daha fazla hassas olacaktır. L tipi interferometrelere benzer şekilde düşünülen LISA'nın her köşesinde bir uydu bulunacak ve aralarındaki uzaklık onmilyon kilometre civarında olacaktır. Bu sayede, çok küçük frekans bandında da veriler alarak, kendi gökadamızdaki ve yakın gökadalardaki gravitasyonel dalga kaynakları daha hassas bir şekilde tesbit edilebilecektir.

Bu deneyler ile güdülen tek amaç gravitasyonel dalga tesbiti değildir. Einstein'ın gravitasyon kuramının diğer öngörülleri de test edilecektir. Bunların bazıları daha önceden test edilmiş olsalar da, hem hassaslığın artırılması hem de kuramın doğruluğunun kesinleşmesine önemli katkılar sağlanacaktır. Diğer taraftan, Güneş Sistemi içi olaylarda şu ana kadar test edilen gravitasyonel etkiler Newton sabiti (G) mertebesindeydi. Lazer interferometreler sayesinde  $G^2$  mertebesindeki etkilerin de gözlenebilmesi mümkün olacaktır. Bu yeni etkilerin ortaya çıkarılmasının yanında bazı gravitasyon kuramları da geçerliliklerini yitireceklerdir. Ayrıca, Kip Thorne'un da öne sürdüğü gibi, önümüzdeki on yıllar içinde yapılacak olan bu gözlemler sonucunda şu an kestiremediğimiz ve elektromanyetik dalgalar yoluyla gözlemleyemediğimiz sürpriz gök olaylarıyla da karşı karşıya kalabiliriz.

---

### Kaynaklar

Kip S. Thorne, *Probing Black Holes and Relativistic Stars with Gravitational Waves*: arXiv: gr-qc/9706079

Bernard F. Schutz, *Gravitational Radiation*: arXiv: gr-qc/0003069

LIGO nun web adresi : <http://www.ligo.caltech.edu> Buradan ayrıca GEO,  
TAMA gibi diğer ilgili bağlantılara da erişmek mümkündür.  
GEO nun web adresi <http://www.geo600.uni-hannover.edu.ge>. Ayrıca  
<http://www.astro.cf.ac.uk/misc/relativite> adresinde ayrıntılı bilgi bulunabilir.  
Genel görelilik için ilginç bir site:  
<http://www.math.ucr.edu/home/baez/relativity.html>