

# GENEL RELATİVİTE TEORİSİNİN DENEYSEL YENİ TESTLERİ

C. Battal

E.Ü. Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay  
Bilimleri Bölümü

## GİRİŞ

Evrenin yapısı ve geometrisi, oluşturulan teoriyle gözlemleri karşılaştırarak incelenmeye çalışılır. Modern teknolojinin uygulamalarında Einstein teorisinin testleri kullanılmaktadır. Bütün kayda değer testlerin hiç birisi Einstein'ın Genel Relativite teorisiyle gelişmemektedir. Gelecek yıllarda teknolojinin duyarlılığını artırmak için bu testlere başvurulacaktır. Gravitasyon araştırmalarında Newton ve Einstein teorilerinin sınanmalarında laboratuvar olarak güneş sistemi kullanılır. Güneş sistemi laboratuvarı henüz gelişmekte olan teknolojiye gerek elektronik açıdan gerekse uzay yolculuğu için kullanışlıdır. Yer lab. ise atmosferik etkilerden dolayı pratik olmamaktadır.

Genel Relativitenin testleri, etkiler cinsinden yapılır. Tablo I de önemli olan etkiler ele alınmıştır (Fakat bu liste tam olmaktan uzaktır. Örn. uzaklığa bağlı olarak gravitasyon sabitinin değişimi, gravitasyon dalgalar, kuantum gravite etkileri hariç tutulmuştur).

## I- IŞIĞIN SAPINCI

Relativitenin klasik testlerinden biri olan ışığın sapıncı güneş kütlesi tarafından ışığın saptırılmasının bir ölçümüdür. Işığın sapıncı  $1.75 R_{\odot} / d$  sn den bulunur.  $R_{\odot}$  güneşin yarıçapı  $d$  ise etki parametresidir. PPN (Parameterized post-Newtonian) çerçevesinde bu değer  $(1 + \gamma)/2$  faktörüyle çarpılmalıdır ( $\gamma, \beta$ , PPN parametreleridir). 1960 yıllarında bunu güneş tutulması esnasında yapılan gözlemlerle 0.20 lik bir hata ile ölçmüşlerdir. 1967 de, Irwin Shapiro, klasik optik tekniklerden daha ziyade radyo interferometreyle relativitenin ışığın sapması deneyini daha duyarlı ölçülebileceğini belirtti. Böyle iki başarılı uygulama yapılmıştır.

İlki, Counselman ve arkadaşları (1974)] tarafından yapılmıştır. Bu testte, (Güneş tarafından örtülmüş) 3C279 kuasarı ile 3C273 kuasasının

gözlemleri VLBL (çok uzun temelli interforemetre) kullanılarak yapılmıştır. Antenler VLBL (çok uzun temelli interforemetre) kullanılarak yapılmıştır. Antenler arasındaki uzaklık 843 km dir. Minimum etki parametresi 10R dir. Relativistik etki ise 0.18 sn olarak ölçülür. Bu deneyde 0.005 lik belirsizlikle  $(1 + \delta) / 2 = 0.99$  olarak bulunmuştur. Nümerik deneyler ve faz bağlantıları gözönüne alındığında  $(1 + \delta) / 2 = 0.99$  0.03 olarak bulunur.

İkinci interforemetre deneyi Fomoint ve Sramek (1977) tarafından yapılmıştır. Etki parametresi 5R den küçüktür. Buradan da  $(1 + \delta) / 2 = 1.007$  0.009 sonucunu bulmuşlardır.

### Bazı Relativistik Etkiler

Etkiler	Parametre Bağımlılığı	Deneylerden elde edilen değ.
Işığın sapıncı	$(1 + \delta) / 2$	1.007 0.009
Perihelin Kayması	$(2 + 2\delta - \beta) / 3$	0.98 ± 0.004
Gravitasyonel kırmızıya kayma	gözlenen beklenen	1.0000025 ± 0.00014
Shapiro Zaman gecikmesi	$(1 + \delta) / 2$	1. ± 0.001
Nordtvedt Prensibi veya Eşdeğerlilik Prensibi	$\eta = 4\beta - \delta - 3$	0.0 ± 0.015
G nin Yıllık Değişimi	$\dot{G} / G$	$(5 \pm 10) 10^{-11} / y$
Gravilyasyon ışınının yörüngeyi sönükleştirmesi	<u>gözlenen</u> <u>beklenen</u>	0.957 ± 0.09
Geodezik presesyon	$(1 + 2\delta) / 2$	0.001
Lense-Thirring Etkisi	$(1 + \delta) / 2$	0.1

Tablo-1

Şu anda ışığın sapıncı testini geliştirmek için deneyler C.F.A. (Harvard Smithsonian Center for Astrophysics) da devam etmektedir. Bunun için ikisi kaynağa , ikisi referans yıldızına yönelik dört anten bulunmaktadır.  $(1+\gamma)/2$  yi 0.001 lik bir belirsizlikle ölçmeyi ummaktadırlar.

## II. PERIHELİN KAYMASI

Relativitenin 2.ci testi gezegenlerin perihellerinin kayması deneyidir. Gezegenlerin yıllık ilerlemesi  $\beta$ , ve de güneşin quadipol momenti  $J$  ye bağlıdır. Yıllık ilerleme

$$S_{\phi} = \frac{3\pi r_0}{p} \left[ \frac{2+2\gamma-\beta}{3} + J_2 X \right] \frac{\text{rad}}{\text{rev.}}$$

olarak verilir. Burada  $X=(R_0)^2/r_0$ ,  $p=a(1-e^2)$ ,  $a$  yörüngenin yarı büyük eksenini,  $e$  dış merkezliğidir.  $r_0=3 \text{ km}$ ,  $R_0=7*10^3 \text{ km}$  dir.

Bu çalışmalarda ilk hedef Merkürün perihelinin ilerlemesinin ölçümü olmuştur. Tablo 2 gezegenlerin perihellerinin kaymalarını vermektedir.

Gezegen	$S_{\phi}$ (sn/ş)	$a$ (A.U.)	$e$	$ \Delta t _{\text{max}} = 2eaS_{\phi}/c$ ( $\mu\text{s}/\text{ş}$ )
Merkür	0.43	0.4	0.2	160
Venüs	0.09	0.7	0.007	2
Dünya	0.04	1	0.017	3
Mars	0.014	1.5	0.09	10

Tablo-2

1972 de radar gözlemleriyle ilkin  $J_2=0$  kabul ederek  $F=1.0 \pm 0.01$  bulmuşlar. Sonrada  $J_2$  hesaplanarak  $F$  değeri bulunmuştur. Bunlar  $F=0.98$   $0.04$  ve  $J_2=(0.5+1.5)*10^{-5}$  dir. Bu bulunan  $F$  değeri ile Viking uçuşlarından belirlenen  $\gamma$  değeri birleştirince  $\beta=1.06+0.12$  olarak elde edilmiştir.

## III. KIRMIZIYA KAYMA

Gravitasyonel kırmızıya kayma Relativitenin üçüncü klasik testidir. Pound, Rebka ve Saiderin

bu konuda yapmış oldukları önemli çalışmalar vardır. Vessot ve Marshall Uzay Uçuş Merkezi ve Harvard Smithsonian Center den oluşturulan bir grup bu test için bir hidrojen maser kullandılar. Onların verilerininin teoriye oranı  $1+(2.5 \pm 63)10^{-6}$  dir.

Güneş yakınındaki Starprobe denilen uzay aracıyla da relativistik kırmızıya kayma deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde 2. ci mertebeye kadar etkiler dahi göz önüne alınmaktadır.

#### IV ZAMAN GEÇİKMESİ

Shapiro (1964) zaman geçikme etkisi, güneş sisteminde relativitenin 4. cü testi olarak bilinir. Dünyadan salınan bir sinyalin güneşe yaklaşarak bir uzay gemisi veya gezegenden geri döndüğü düşünölsün. Gidiş geliş süresi ve artı ilave terim gelmektedir. İşte bu terim

$$\Delta\tau = \frac{2r_0}{c} \ln \left[ \frac{r_e + r_p + R}{r_e + r_p - R} \right]$$

dir. Burada  $r = 3\text{km}$  ,  $2r_0 / c = \mu\text{s}$  ve  $S = (1 + \delta) / 2$  dir.  $r_e$  güneşten dünyaya ,  $r_p$  güneşten hedefe ,  $R$  dünyadan hedefe olan uzaklıkları belirtir. Etki parametresi  $d$ ,  $r_p$  veya  $r_e$  den küçük olduğunda şöyle bir sadeleştirme yapılabilir.

$$\frac{r_e + r_p + R}{r_e + r_p - R} = \frac{4Rr_p}{d^2}$$

1971 yıllarında radar verilerine dayanarak gözlemler yapılmıştır. Bu gözlemlerde X ve UHF bandları kullanılmış ve  $1 + \delta / 2$  faktörü 0.05 lik bir belirsizlikle 1.01 olarak bulunmuştur. Mariner 6 ve 7 nin veri analizinden ise  $1 + 0.03$  olarak elde edilmiştir.

Marsa gönderilen Viking uydularıda bu testleri yapmışlardır. Bu uçuşların analizlerinden sonuçların teoriyle uyduğünü  $(1 + \delta) / 2 = 1.000 \pm 0.001$  olarak elde etmişlerdir. Bu deneylerin analizi hala devam etmektedir.

#### V EŞDEĞERLİLİK PRENSİBİ

Eşdeğerlilik prensibi Genel Relativitenin temel taşlarından biridir. Yüksek presesyon deneylerinin bir çoğu eşdeğerlilik prensibiyle test edilmektedir. Eğer bir cismin  $M$ ; Gravitasyon

kütlesi ile  $M$  eylemsizlik kütlesi aynı değilse  $M_g = M / (1 + \eta \Delta)$  olacaktır. Buradaki  $\eta$  bazen sıfırda kabul edilen katsayıdır.  $\Delta$  ise cismin self enerjisi.

Yüksek presesyon deneylerinde Van Eötvös ve arkadaşları (1922) iki farklı materyalin burulmalı terazi kullanarak güneş sisteminde ivmelerini ölçmüşler ve  $\Delta\eta$  niceliğini  $5 \cdot 10^{-9}$  lik bir belirsizlikle sıfır bulmuşlardır. (1971) de Braginsky ve Panov da  $2 \cdot 10^{-8}$  lik belirsizlikle sıfır buldular.

Nordvedt PPN formalizmine bağlı olarak eşdeğerlilik prensibinden sapma olaylarını incelemiştir. Eşdeğerlilik prensibinden sapma mevcutsa dünya ay uzaklığında şöyle bir periyodik değişim olacağını buldular.

$$r = (A\eta + B)\sin\theta$$

$A: 8m$ ,  $B: 110km$ ,  $\theta$ : Güneş dünya ay arasındaki açıdır. 4.5 yıllık ay laser veri analizine dayanarak Shapiro ve arkadaşları (1976)  $|\eta| < 0.015$  olduğunu buldular.

Eşdeğerlilik prensibinden bir sapmanın olup olmadığını anlamamanın bir başka yoluda dünya-mars-güneş ve jüpiter sisteminin incelenmesi olduğu düşünülmektedir.

## VI. G'nin YILLIK DEĞİŞİMİ

Gravitasyonel etkileşmelerin zamanla yavaşça değişip değişmediği tartışılan bir konudur. Eğer böyle bir değişim mevcutsa, bu  $G$  değişimi nasıl keşfedilebilir? Bir olasılık güneş sistemi laboratuvarını kullanmak ve fizik kanunlarının değiştiğini düşünmektir. Güya  $G$  değişiyormuş gibi güneş sistemi verileri analiz edilir.

$$G = G_0 + \dot{G} (t - t_0)$$

Bu denklem göz önüne alınarak gezegen yörüngesine uygulandığında  $a$  (yarı büyük eksen),  $n$  (ortalama hareket),  $p$  (period) arasında şöyle bir bağıntı mevcut olacaktır.

$$\frac{2\dot{G}}{G} = -\frac{2\dot{a}}{a} = -\frac{\dot{p}}{p} = \frac{\dot{n}}{n}$$

Teorilerden  $\dot{G}/G$  yi  $10^{-11}$  olarak bulunur. Merkürün 9 yıllık gözlemleri sonucunda  $\dot{G}/G$  yılda  $10^{-14}$  lık bir belirsizlikle ölçülür. Bu problem o kadar kolay değildir. Güneşin kütlesi yılda  $10^{-14}$  değiştiğinden veri analizinde problemler neden olur. Gözlem geometrileri o kadar mükemmel değil-

dir. Tüm gözlemler Merkürün yörüngesine teğet olduğu anda yapılamaz, ilaveten model hatalarında mevcuttur. Böylece başlangıçta  $\frac{6}{6}$  tayininde  $10^{-10}$  lük bir belirsizlik görülsede sonradan bunun  $10^{-10}$  olduğuna karar verilir. Sonuçta değeri  $5 \pm 10 \cdot 10^{-10}$  olarak elde edilir.

G tayinini daha duyarlı bir şekilde elde etmek için çalışmalar sürmektedir.

## VII PSR 1913+16

Gravitasyon çalışmalarında güneş sistemi yada laboratuvar sistemleri yerine bazen astrofiziksel sistemler kullanılır. Böyle bir sistem PSR 1913+16 nın gözlemleridir.

Pulsarın 59 ms lik bir periyodu ve 0.617 lik bir dış merkezliği ve 7 sa 45 dk lık bir yörünge periyodu vardır. Bu pulsarın gözlemleri Eylül 1974 den, Mayıs 1981 e kadar 6.5 yıllık bir sürede yapılmıştır. Bu gözlemlerde önemli relativistik etkiler görülür. Bunlardan birisi ise gravitasyonel ışınımın yörüngesinin sönmesidir.

Taylor ve Weisberg (1982) yörünge değişim periyodunun değişim hızını  $(2 \pm 0.22) 10^{-12}$  olduğunu en küçük karelerle belirlediler. Teoriyle de bu gravitasyonel ışınım sönmekleştmesini  $2.4 \cdot 10^{-12}$  olarak buldular. Gözlemlerin teoriye oranı ise  $0.957 \pm 0.09$  dur.

## VIII STANFORD GYROSCOPE DENEYİ

GP-B denilen Stanford Gyroscope deneyinde, gravitasyon alanı ile gyroscope arasında bir etkileşme mevcuttur. Bu etkileşmede önemli 2 etki görülür. Bunlar geodezik presesyon ile Lense-Thirring etkileridir. Geodezik presesyon yılda 7 sn, Lense-Thirring etkisinde 0.05 sn olarak ölçülür. Bu etkilerin ölçülmesi için çok yüksek derecede stabil olan bir gyroscope gereklidir. Potansiyel kaynakların sistematik hatalarını azaltmak için bu deneyin uzayda yapılması gereklidir. Gerekli teknolojinin çoğu gelişmiş fakat uygulamaya geçilmemiştir.

## SONUÇ

Şu anda Relativistik Gravitasyon teorisinin testlerini yapmak için tahsil edilmiş uluslararası küçük bir enstitü mevcuttur. Birinci mertebeden başarılı testler ve PSR 1913 16 den elde edilen kanıtların tümü Genel Relativitenin geçerliliğini desteklemektedirler. Şu anda yeni bir çağın başlangıcındayız. Lense-Thirring etkileri, ikinci mertebeden etkiler ve kuantum mekanik sistemi ile gravitasyon etkileşmeleri kapsayan ilave olaylar araştırılmaktadır. Gelecek yıllarda deneysel açıklamalar yapılması beklenmektedir.

## LİTERATÜR

Robert, D. Reasenberq, Unified field theories of more than 4 dimensions including exact solution Sy 19-66

