

Görelilik Kuramını Sınamak

Beklenmeyen askeri bir müdahale: GPS uydularının verileri üzerindeki şifrelemenin kaldırılması, fizikçilere Einstein'ın genel görelilik kuramını doğru olarak sınama olanağını sunuyor.

18 Eylül 1994 günü, Birleşmiş Milletler'in izniyle Haiti'ye hareket eden ilk amerikan birlikleri ertesi gün buraya çıkarma yaptılar. Bu, demokrasiyi destekleme operasyonunun başlangıcıydı. Bu girişimin resmi amacına ulaşmış olmadığını tartışmayacağız burada. Ancak bu işlem en azından görülmemiş bir sınamayı sağladı. Gerçekten de 18 Eylül'den 23 Eylül'e kadar Amerikan askeri uyduların GPS'nin (Global Positioning System) sinyallerini bozan parazitler arındırıldı. Bu küçük öykü ortaya şöyle bir açıklamayı getiriyor: Amerikan ordusu, bozulan sinyali tekrar oluşturan gelişmiş alıcıları çok fazla olmadığından, kriz anında sinyalleri bozmaktan kaçınıyor. Bozulmamış sinyallerin kullanılabilir olması bize Einstein'ın görelilik kuramını eskisine göre iki kat daha kesin olarak sınama olanağı verdi.

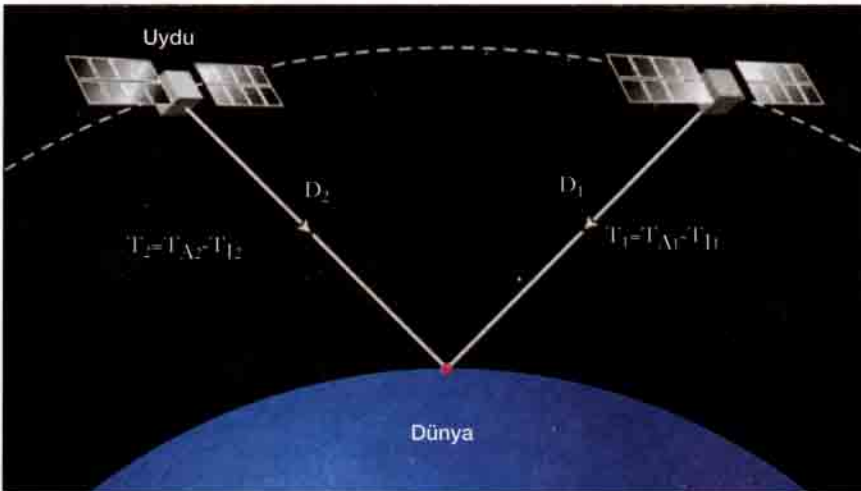
GPS sistemi, 20 000 km yüksekte yörüngede bulunan ve Dünya'yı bir küre şeklinde saran, yirmi dört uydudan oluşan bir radyokonumlandırma sistemidir. Amerikan ordusunca geliştirilip kullanılsa da, 8-

10 milyon ABD Doları'na satın alınabilecek alıcılara sahiptir; herkese anında dünyanın neresinde olursa olsun coğrafi konumunu 100 metreye kadar hata payıyla bildirebiliyor. GPS'nin gündelik yaşamda kullanılmasına karşın, karışık bir sistemden oluştuğunu unutmamak gerek, örneğin performansı, uydulardaki atomik saatin niteliği düzeyindedir. Bu saatler o kadar hassastır ki bir uydunun dünyadaki bir istasyondan görülme süresi içindeki (yaklaşık altı saat) ortalama değişimleri birkaç nanosaniyeyi (saniyenin milyarda biri) geçmez. GPS sistemi yıllardır yerölçümcüleri ve jeofizikçiler tarafından dünyadaki iki nokta arasındaki uzaklığı santimetre düzeyindeki bir belirsizlikle ölçmek için kullanılmaktadır.

Bu sistemin büyük öneminden dolayı, Uluslararası Jeodezi Derneği, IGS (International GPS Service for Geodynamics) adlı bir servisi hizmete geçirmiştir. Bu servisin amacı da, GPS verilerini dünyadaki istasyonlar ağı üzerinden toplamak, bu istasyonların koordinatlarını ve GPS uydularının konumlarını hesaplayarak tüm bunları İnternet'e herkesin serbestçe yararlanabileceği bir biçimde girmektir. IGS, görelilik kuramının sınanması için temel bir araç oluşturmıştır.

Biz tam olarak neyi kanıtlamış durumdayız? İçinde yaşadığımız uzay-zamanı tanımlayan görelilik kuramı, birkaç varsayıma dayanır. Bunlardan biri, c ile tanımlanan ışık hızının, gözlemcinin hızı ne olursa olsun her zaman aynı olduğunu ön koşul olarak ileri sürer. Bunu dolaylı ya da dolaysız olarak sınamanın bir yolu, ışık hızının anizotropisini yani c'nin uzaydaki doğrultuya bağlı olup olmadığını bulmaya çalışmaktır. Bugüne değin, denemeler sonuçsuz kalmıştır. Nominal değere göre $\delta c/c$ olan bağıl saçılma her durumda 3×10^{-9} değerinin altındadır. Bu değer, 1987'de Danimarka'da Aarhus Üniversitesi'nde araştırmacı olan Erling Riis'in Amerika ve Danimarkalılardan oluşan bir grup tarafından lazer spektroskopu deneyi sonucu elde edilmiş bir limittir. Ancak bu deney, diğer birçokları gibi uzaydaki değişik doğrultuları araştırmak için dünyanın dönmesine dayanıyor; dolayısıyla bu deney, yalnızca ekvator düzleminde olabilecek mümkün bir anizotropiye karşı çok hassastır. Oysa, kutup eksenine doğrultusundaki bir anizotropi bu deneyle bulunamaz. GPS sinyallerinin bozulmadan geldiği altı günlük dönem ise, c izotropisi üzerine tüm doğrultulara hassas yeni bir dolaysız test yapabilme fırsatını veriyor. Dolaysız sınamayla, iki nokta arası D ve bir dalganın noktaların birinden ötekine yayılırken geçirdiği sürenin T olduğu bir deney kastediliyor. O zaman dalganın yayılma hızı olan D/T oranı, dalganın doğrultusu değiştiğinde sabit kalıyorsa dalganın yayılma hızının izotrop olduğu sonucuna varırız.

Bir alıcı, GPS uyduları tarafından yollanan radyo sinyalleri içindeki kodlar sayesinde, uydudan yayılma başladığından beri geçen T zamanını ölçebilir. Alıcı istasyonunun üstünden bir uydunun geçtiği sırada, istasyon-uydu arasındaki yön 180° civarında oynayabilir. Eğer istasyonun en az uydudaki kadar hassas bir atomik saati varsa, o zaman geçiş süresince T değişimlerini birkaç nanosaniyelik belirsizlikle saptayabiliriz.



GPS uydusunun yörüngesindeki değişik noktalardan gelen radyo sinyalinin, ışıma tarihi T_I ve algılama tarihi T_A 'nın bilinmesi, yayılma zamanı T 'nin değişik her yönde hesaplanabilmesini sağlıyor. Radyo sinyali tarafından katedilen D uzaklığı, uydunun ve yerdeki istasyonların konumlarından hesaplanıyor. Eğer ışık hızı izotrop değilse, D/T oranı yöne göre değişir.

Eğer geçiş süresi boyunca istasyon-uydu arası uzaklık olan D de elimizde bulunuyorsa, problemimizi çözmek için yeterli bilgiye sahibiz demektir.

IGS tüm bunları bize tam olarak sağlıyor. Dünya'nın her tarafına dağılmış elliden fazla istasyonlu bir şebekeyi kapsıyor. Bunların çoğunda atomik saatler (Mikrodalgalar şeklinde ışımaya yayan, lazere benzeyen bir aygıt olan hidrojenli maserler) var. Bu saatler, GPS uydularının saatlerinden daha doğru. Bütün bu istasyonların GPS alıcılarının verilerini İnternet'te bulmak olanaklı. Bu bize T yayılma süresinin değerlerini elde edebilmemizi sağlıyor. Sonra, istasyon ve uyduların konumları IGS tarafından, yerdeki istasyonlar için birkaç santimetre, uydular için ise 20 santimetre belirsizlikle hesaplanıyor; bunları da İnternet'te bulabiliyoruz. Bu sonuçlar D uzaklığının hesaplanmasını sağlıyor. Gözönünde bulundurmamız gereken bir nokta da, IGS'nin hesaplama yöntemine göre, konum ve doğal olarak D uzaklığının c hızının anizotropisi tarafından etkilenmiyor olmasıdır.

Demokrasiyi destekleme operasyonu sayesinde ışık hızının sabitliği görülmemiş bir kesinlikle sınıyanıyor

Bütün IGS istasyonları arasında, bir düzgün örtü şeklinde her yöne dağılmış ve hidrojen maserine sahip olanlardan sekizini seçtik. Bu istasyonlar Brüksel (Belçika), Alonquin ve Yellowknife (Kanada), Fairbanks (Alaska), Kokee Park (Hawaii), Forrelaza (Brezilya), Santiago (Şili) ve Hobart'da (Avustralya) bulunuyor. 1994'ten beri GPS sisteminin 25 uydusu yaklaşık olarak 900 geçişle bize D/T değişiminin incelenmesini sağladı.

D ve T 'nin hesaplamaları, nanosaniyeler mertebesindeki bir çalışmayla yapılmalıdır (uzaklığı 30 cm



alacak olursak). Her geçiş süresince GPS saatlerinin sürekli değişimlerine daha büyük hatalar sokmamak gerekir. Bunun için, birçok hata etkisini hesaba katmak gerekir ki bunların en önemlisi atmosferden geçişleri sırasında radyo dalgalarının gecikmesi, uydudaki saatin ritminde ve genel görelilik kuramında daha önceden söylenen dalganın yayılımında olan değişikliklerdir.

İlk bakışta çelişkili görünen bir görelilik kuramının sınanması için görelilik bir model kullanmak gerekmektedir: Hesaba katılacak etkiler küçük ve bu etkilerin değerleri de ışık hızının olası anizotropisine önemsiz sayılacak derecede bağlı olmalıdır.

GPS verileri içinde bir anizotropi arayışı, bütün bir uzayı tarayan doğrultular bütünlüğü üzerinde yapılmıştır. En büyük değer 76° enleminde $(\delta c/c) = 4,9 \times 10^{-9}$ olarak bulunmuştur; ekvator düzlemindeki en büyük değer $1,6 \times 10^{-9}$ 'dur. Kozmolojicilere göre ayrıcalığı olan doğrultu, evrenin fon radyo emisyonu (COBE uydusu tarafından ölçülen) tarafından tanımlanan eylemsiz gözlem çerçevesine göre Güneş Sistemi'nin hareket doğrultusudur. Bu yönde en büyük değer $1,9 \times 10^{-9}$ 'dir. Çok fazla sayıdaki geçişin incelenmesinden dolayı, is-

tatistiksel belirsizlik çok daha azdır ve tüm bu değerler $\delta c/c$ 'nin üst sınırı olarak kabul edilebilir. Bunlar, en iyi dolaysız testlere göre iki merteye ve en iyi dolaylı testlere göre de 2-6 merteye arasında kazanç gösterebilir. Bu aynı zamanda büyük uzaklıklarda (20 000 km mertebesinde) c 'nin izotropisini tahmin etmeyi sağlayan ilk testtir.

Kural olarak, çok hassas saatlere ve bunları dünyadaki saatlerle karşılaştırma yeteneği olan sistemlere sahip uydular, ışığın hızının evrenselliğini sınaama yeteneğindedirler. Hidrojen maseri ya da LPTF (Ulusal Meteoroloji Bürosu'na -Paris Gözlemevi- bağlı zaman ve frekanslar temel laboratuvarı) ve CNES (Ulusal Uzay İnceleme Merkezi) tarafından geliştirilen PHARAO projesindeki gibi, soğutulmuş atom saatini ve CERGA (Jeodinamik ve Astronomi, İnceleme ve Araştırma Merkezi; Côte d'Azur gözlemevi) tarafından geliştirilen lazerli saat karşılaştırma sistemini yörüngede kullanarak, c 'nin anizotropi limitinin doğrudan tanımlanmasında iki merteye daha ilerlenmiş olunur. Üstelik böyle bir deney, süper hassas bir saate dayanan uzay görevi için fazladan bir değerdir. Çünkü bu ek harcama gerektirmeyecektir. Bu aynı zamanda ileride, sinyallerin bozulmasının kesilmesi durumunda herkesin koltuğunda oturarak tekrarlayacağı GPS verilerinin kullanıldığı deneyimiz için de geçerlidir; gereken sadece İnternet'e bağlı kişisel bilgisayarlardır.

Petit, G., Wolf, P., "Tester La Relativité Sans Quitter Son Fauteuil" La Recherche, Nisan 1997
Çeviri: Alkım Özyayın

IŞIK HIZININ ANİZOTROPİSİ ÜZERİNE LİMİTLER

Doğrudan testler:

T.P. Krisher ve grubu (1990)	ekvatoryal düzlemde $\delta c/c < 3,5 \times 10^{-9}$
GPS testi (bu çalışma)	her yönde $\delta c/c < 4,9 \times 10^{-9}$ ve ekvatoryal düzlemde $\delta c/c < 1,6 \times 10^{-9}$

Dolaylı Testler:

E. Riis ve grubu (1987)	ekvatoryal düzlemde $\delta c/c < 3 \times 10^{-9}$
R.F.C Vessot ve grubu (1979)	özel bir yönde $\delta c/c < 3 \times 10^{-9}$

K.C Turner ve H.A. Hill (1964)	her yönde $\delta c/c < 3 \times 10^{-9}$
--------------------------------------	---