

# Uzayda Fizik Deneyleri

**U**ZAY BİLİMİ, tüm insanlığın yararına, Güneş'i, Güneş Sistemi'ni, galaksiyi ve Evreni keşfediyor ve anlamaya çalışıyor. A.B.D. Ulusal Bilimler Akademisi ve Uzay Bilimi Kurulu'nun 1994'te yayınladığı "21. Yüzyıl İçin Uzay Bilimi" başlıklı rapor bu tümceyle başlıyor. Burada dile getirilenler, bilim çevrelerinin, genelde de tüm sivil toplum kesimlerinin, uzay çalışmalarının başlangıcından beri özlemini duyduğu yeni bir dönemin başlangıcı için önemli işaretler içeriyor. Bugüne değin, soğuk savaşın etkisiyle, süper güçler arasında bir "ilkler yarışı" biçiminde başlayıp, silahlanmayı yerküre sınırlarının dışına sürüklenme noktasına kadar getiren uzay çalışmaları, tam anlamıyla temel ve uygulamalı bilimlerde ilerleme, dolaşısıyla da insanlık yararına olan bir çerçeveye oturtulabilecek mi? Şimdiye kadar askeri ve ticari amaçlı uçuların gölgesinde gelişimini güçlüklerle sürdürebilen birkaç büyük bilimsel proje, umulduğu gibi yakın gelecekte ön plana çekilebilirse, bu soruya "evet" yanıtını vermek kolaylaşacak. NASA'nın uzay çalışmaları programında izlediği politikalar bugünkü seyrine devam edebilirse, önümüzdeki birkaç yıl içinde, 30 yıldır beklenmede tutulan iki dev fizik projesi GP-B ve STEP'in gerçekleştiğini görebileceğiz.

Çağdaş anlamıyla temel fiziğin çalışma alanı ve yöntemleri uzay biliminkiyle çakışıyor. Uzay hakkında bil-

diğimiz şeylerin önemli kısmını Yuri Gagarin, Neil Armstrong gibi uzay kaşiflerinden çok, Albert Einstein, Stephen Hawking gibi fizikçilere borçluyuz. NASA gibi büyük uzay araştırmaları kuruluşlarının, uzay ve içerdiği madde türleri hakkında doğrudan gözlemlerle keşfedemediği pek çok olgu CERN gibi parçacık fiziği araştırmaları kuruluşlarında ortaya çıkarılıyor. Çoğu keşif, ilkin üniversite amfilerinde kuramsal olarak gerçekleştirilip, uygulamalı fizikçilerin bunları laboratuvara taşınması zaman alırken, uzay araştırmacıları gelişmelere hiç ayak uyduramayabiliyor. Bunun aslında çoktandır farkında olan NASA gibi kuruluşlar, uzay ve zamanın doğasına ilişkin, Büyük Patlama, genel ve özel görelilik gibi kuramların uzayda sınanması konusunda öncülüğü yavaş yavaş ele geçirmeye başladı bile. "21. Yüzyıl İçin Uzay Bilimi" başlıklı rapordan şu paragraflar da bunun delilleri: "Biz insanlar, kökenimiz, varlığımız ve kaderimizi anlama ve tartışma yeteneğine ve ayrıcalığına sahibiz. Yüzyıllar boyunca gökyüzüne bakıp Güneş'in, Ay'ın, gezegenlerin ve yıldızların hareketlerini izledik ve tüm bunların ilişkisi ve Evren hakkında düşündük, durduk.

Tarih boyunca, bilim adamları doğanın karmaşık yapısına ilişkin pek çok gerçeği kayda değer, hatta beklenmedik keşifleriyle ortaya çıkardılar. Örneğin, şimdi artık biliyoruz ki, Evren, Büyük Patlama adıyla tanımlanan bir olayın sonunda doğmuştur, bizler sayısız galaksiyle dolu, genişleyen bir

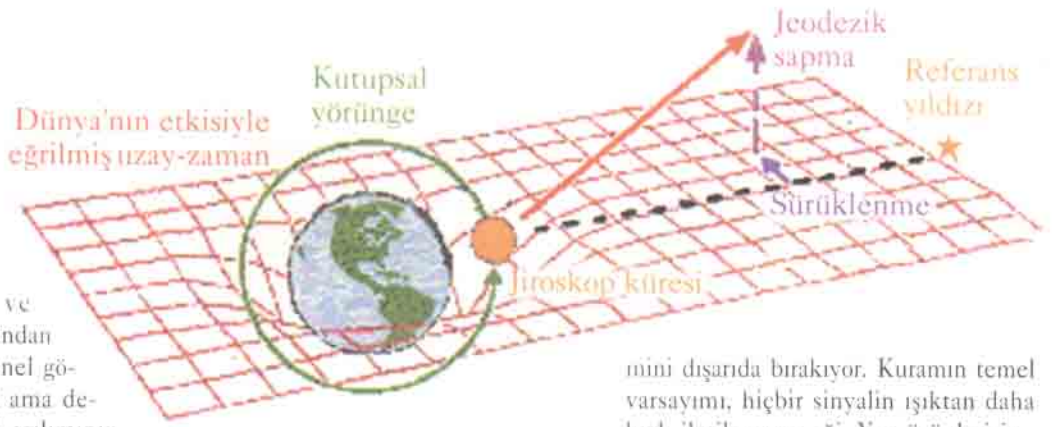
Evren'in tek bir galaksisinin içinde yer alan Güneş Sistemi'nde yaşıyoruz; bedenimiz Büyük Patlama sırasında ortaya çıkan parçacıkların oluşturduğu atomlardan yapılmıştır, vb... Bunlar geçmiş nesiller için hayal edilemeyecek düşüncelerken, şimdi birer gerçek olarak görülüyorlar.

Süregiden bilgi arayışımızın temelinde, tüm evrenin varoluşunu belirleyen, doğanın temel kuvvetlerinin açığa çıkarılması yatıyor. İşin en heyecan verici yönü ise, Dünya için geçerli olan temel kuvvetlerin, gözlemlenebilir evrenin en irak köşesi için de geçerli oluşu. Kozmik olgular hakkındaki keşiflerimiz, temel kuvvetleri ve doğa yasalarını, Dünya'daki hiçbir laboratuvarın sağlayamayacağı kadar sıcak, soğuk, yoğun ve ıssız koşullarda sinamamızı sağlıyor".

Yukarıdaki paragrafta dile getirilen, Dünya sınırları dışında test edilmesi gereken "dünyevi" kuramlardan en önemlisi "genel görelilik". Einstein tarafından ortaya atılan ve tüm olguların açıklanmasında bilinen en yetkin kuram olarak kabul gören bu kuramın, kütle çekimi, eşdeğerlik gibi açılımlarının somut deneylerle kanıtlanması, yörüngede yapılacak bir kaç deneye bağlı. 30 yıldır beklenen bu deneyler, GP-B (ing. Gravity Probe-B, Kütleçekim Aracı-B) ve STEP (ing. Satellite Test of Equivalence Principle, Eşdeğerlik İlkesi Uydu Testi) adlı birleşik projelerle, 2000 yılına doğru gerçekleştirilecekler. Bunlarla, son yüzyılların en önemli fiziksel deneylerinin yapılacağı şimdiden kesin.

## Genel Görelilik Sınavda

GP-B aracı, NASA ve Stanford Üniversitesi tarafından geliştirilen, Einstein'ın genel görelilik kuramının, önemli ama deneyle kanıtlanamamış iki açılımının test edilmesi amacıyla hazırlanmış bir jiroskop düzeneği. Deneyde, Dünya'nın dönme ekseninin bulunduğu düzlem üzerinde, yaklaşık 640 kilometre yükseklikteki yörüngeye oturtulan bir uzay aracındaki 4 duyarlı jiroskopun spin (dönme) doğrultularındaki küçük sapmalar ölçülecek. Jiroskopların dış etkilerden o denli yalıtılması tasarlanıyor ki, oluşturulan düzenek kusursuz bir uzay-zaman gözlem çerçevesi olacak. Bu düzenekle, uzay ve zamanın Dünya'nın varlığıyla nasıl eğildiğini, daha da önemlisi, Dünya'nın eksenini etrafında dönmesiyle, kendisini çevreleyen uzay-zamanı nasıl daha da büktüğünü (veya sürüklediğini) anlamak mümkün olabilecek. Dünya ele alındığında zayıf olan bu etki, doğa ve evrendeki maddenin yapısı hakkında önemli bilgiler içeriyor. GP-B, NASA tarafından yürütülen programlar içinde, üzerinde en yoğun olarak ve derinlemesine çalışılan, 30 yılı aşkın süredir bu projeye katılan seçkin fizikçilerin ve mühendislerin çalışmaları sırasında pek çok önemli yan ürün verilmiş. Dönen bir süperiletkenin London momentini ilk kez ölçen, man yetik akının etkisini gidermek için süperiletken torba yöntemini ilk kez deneyen ve benzeri pek çok fizik deneyine imzasını atan bu ekip olmuş.



Aradan geçen yaklaşık onca yıldan sonra, Einstein'ın genel görelilik kuramı neden sınıyor? Bunun yanıtı, uzay, zaman ve kütleçekimini bir kuramda toplayan, karadelikler ve genişleyen evren gibi olguları tanımlayan gelişmiş geçmiş en akılcı yöntem olmasına karşın, en az sınıp kanıtlanabilmiş teori oluşunda yatıyor. Genel göreliliği, fiziğin diğer kuramlarıyla bağdaştırmak güç olduğu gibi, kuram kendi yapısında da tartışmalar içeriyor. Yaşamı boyunca bunun sıkıntısını çeken Einstein da, kuramını genişletmeye ve fiziğin bir başka alanı, elektromanyetizmayla bütünleştirmeye uğraşmış. Çağdaş fizikçiler de kuramı genişletmeye ve netleştirmeye uğraşırken, var olandan daha büyük çelişkilere yol açmışlar.

Einstein'ın da laboratuvar testinden geçmesinin zamanı artık geldi.  $E=mc^2$  formülüne inanmayan var mı? Herhalde yoktur!.. Bu formül, tüm görelilik çalışmaları ele alındığında, bütünüyle bağlayıcı ve belirleyici olmadığı halde, herkese tanıdık geldiği için, fizik eğitimi almayanlarca görelilik kuramının özeti olarak biliniyor. Görelilik bile tek başına belirleyici bir başlık olmayıp, "özel" ve "genel" olmak üzere ikiye ayrılıyor. Özel görelilik, uzay ve zaman konularını bir arada yoğunabilirken, kütleçekimi

mini dışında bırakıyor. Kuramın temel varsayımı, hiçbir sinyalin ışıktan daha hızlı iletilmeyeceği. Yan ürünleri ise, ünlü  $E=mc^2$  formülü, kütle ve zaman ölçümlerinin, gözlemciye göre farklılığı vb. Tüm bu sonuçlar parçacık hızlandırıcıları ve nükleer enerji reaktörlerinde hergün tekrar tekrar kanıtlanıyor.

Genel göreliliğe gelince, işler biraz karışıyor. Bu, kütleçekimini açıklayan bir kuram ve Einstein'a epey soğuk ter döktüğü belli oluyor. Hiçbir sinyal ışıktan hızlı ilerleyemiyor olmalıyken, Newton'un kaya gibi sağlam görünen kuramına göre kütleçekimi gecikme olmaksızın sonsuz uzaklıkları katediyor olmalı. Bu durumu açıklamak için Einstein, 1916 yılında yeni bir kuram ortaya koymuş: Kütleçekiminin bir kuvvet değil, uzay ve zamanı etkileyen bir alan olarak ele alınması gerektiği. Bize Güneş çevresinde eliptik bir yörüngede dönüyormuş gibi görünen gezegenler, aslında, uzay-zaman eğriliğinde, en kısa yol (jeodezik) üzerinde ilerliyor olmalıydı.

Bu kuram ve Newton'un klasik yaklaşımı, Güneş Sistemi sınırlarında ele alındığında, sonuçları bakımından hemen hemen farksızdır. Genel görelilik, ancak kozmik ölçekteki olgular ele alındığında veya kara delikler gibi çok yoğun cisimlerin yakınında farklı sonuçlar doğurur. 1916'da Einstein, ancak üç küçük potansiyel olarak belirleyici özellik öne sürebilirdi. Sırasıyla: Merkür'ün, Güneş çevresindeki dolanımı sürecinde, Güneş'e en yakın olduğu noktanın konumu, belli bir zaman dilimi sonrasında, aynı düzlem üzerinde Newton'un hesapladığından küçük bir açı farkıyla kaymalı; Güneş'in dış çeperine yakın konumdaki yıldızların gözlemlendikleri nokta, asıl konumlarına göre bir miktar dışa kaymış olmalı; bir yıldızı terk eden ışık ışınının rengi hafifçe kırmızıya kaymalı. Bu üç özellik, aradan geçen 40 yıl boyunca hiçbir zaman yeterince duyarlı biçimde kanıtlanamadığı gibi, olası sebeplerinin arasında genel göreliliğin önergilerinden başkaları da eklendi.



Aradan geçen süre içinde gerçekleştirilebilen deneyler çoğunlukla, deyim yerindeyse "genel göreliliğe nihai olmasa da destekleyici nitelikte kanıt oluşturmaya" yönelikti. Bu deneylerde, genel göreliliğe alternatif, aynı alandaki, farklı savlar içeren kuramların geçersizliği gösterildi. Buna örnek olarak, Nordtvelt etkisi deneyi gösterilebilir. Bu, Newton ve Einstein kuramlarının dışında varsayımsal etkiye göre, Dünya ve Ay arasındaki uzaklığın, Güneşin çekim alanı etkisinde 28 günlük bir periyotta değişmesi gerekiyor. Bu etki, Apollo aracıyla Ay'a giden astronotların yerleştirdiği aynaların yardımıyla duyarlı lazer ölçümleri yapılarak çürütüldü. Bu sayede, genel göreliliğe rakip çoğu kuram iflas etmiş oldu. Yine de alternatif kuramların çürütülmüş oluşu, genel göreliliğin kesin haklı olduğunu kanıtlamaya yetmiyor.

GP-B projesi, genel göreliliğin en temel önermelerini, duyarlı jiroskoplar yardımıyla kesin olarak kanıtlamayı hedefliyor. İlk olarak 1852 yılında J. B. L. Foucault tarafından kullanılan jiroskop, serbest olarak dönen bir volan yardımıyla Dünya'nın dönüşünü araştırmak için hazırlanmıştı. O günden beridir jiroskopların pek çok çeşidi üretildi ve özellikle navigasyon konusunda bugüne kadar kullanılageldi. GP-B için tasarlanan jiroskoplar, tipik bir silindirik volandan değil, vakum ortamında elektriksel bir yatak üzerinde döndürülen kusursuz kürelerden oluşuyor. Tüm jiroskop sistemlerinde olduğu gibi burada da temel yaklaşım, dış etmenlerden yalıtılmış, dönen bir düzeneğin ekseninin

uzayda sabit bir doğrultuyu göstereceği ilkesine dayanıyor. Ancak "uzayda sabit bir doğrultu" kavramını biraz açmak gerekiyor... Newton için açıklama oldukça basitti: Uzay ve zaman değişmez ve mutlak olduğu için bu, basit anlamda bir doğrultuydu. Buna göre, eksenini belli bir yıldız doğrultulan bir jiroskop, bu konumundan sapmadan sonsuza kadar dönmeliydi. Einstein ise böyle düşünmüyor. Ona göre, uzay-zaman eğridir ve üstelik, hareket eden madde tarafından eğriliği değiştirilebilir. Dünya yörüngesindeki bir jiroskop iki önemli sürecin etkisi altındadır; sürüklenme ve jeodezik etki. Bu iki süreç, jiroskopun spin doğrultusunu sürekli değiştirir.

1918 yılında, Einstein'ın genel görelilik kuramını formüle etmesinden iki yıl sonra, W. Einse ve H. Thirring, bu kurama göre, dönen büyük bir kütlelinin, çevresindeki uzay ve zaman eğriliğini de yavaşça sürüklemesi gerektiğini hesaplamıştı. O sıralarda böyle bir yargının deneysel yoldan gösterilmesi hayal bile edilemiyordu. 1959 yılında Stanford Üniversitesi'nden Leonard Schiff (ve bundan habersiz olarak George Pugh) yörüngeye oturtulmuş bir jiroskop önerisini getirinceye kadar bu durum değişmedi. Schiff'in hesaplarına göre, 640 km yükseklikte bir kutupsal yörüngeye oturtulan bir jiroskopun doğrultusu, Dünya ile birlikte yılda 42 miliar-k saniyelik bir açıyla dönmeliydi. Bugüne kadar gözlemlenemeyen bu önemli etki GP-B projesi yürürlüğe girdiğinde %1'den düşük bir hata payıyla test edilebilecek.

Jiroskopun spin doğrultusunu etkilemesi beklenen bir diğer, belki çok daha önemli etki, "jeodezik etki". Jeodezik etki, 1916 yılında W. de Sitter tarafından ortaya atılmış. De Sitter, Dünya-Ay sisteminin Güneş çevresindeki karmaşık hareketinde küçük bir görelilik sapma olması gerektiğini öne sürmüştü. Bu etki, 1988 yılında bir ölçüde gözlemlenebilmiş. Bir jiroskop için hesaplanan jeodezik etki, yörünge düzlemine göre, doğrultusunda 6 600 yılda bir milisaniye sapma öneriyor. Bu, görelilik ölçütleriyle oldukça yüksek bir sapma. GP-B, bu etkiyi 10 000 de 1 duyarlılıkla hesaplayacak ki, bu genel görelilik tarafından öne sürülmüş bir etkinin en duyarlı hesabı olacak.

GP-B üzerinde 4 jiroskop ve Orion takımı yıldızındaki bir tekil yıldız olan Rigel'e doğrultulmuş bir referans teleskopu taşıyacak; kutupsal yörüngesinde, jiroskopların spin eksenleri de Rigel'e dönük olacak. Bu, bugüne kadarki genel görelilik testlerinden farklı olarak, dolaysız gözleme dayalı bir fizik deneyi olacak. Deney süreci bütünüyle denetim altında tutulabileceğinden, dış etmenler, alışıldığı gibi hesaplama yoluyla sonuçlardan çıkarılmak yerine bütünüyle uzak tutulabilecek.

## Yörüngede Deneyin Sihirli Dünyası

Sürüklenme etkisi, Dünya ele alındığında küçükse de, vaat ettikleri büyük. Uzak kuasarlarda büyük boyutlarda enerji açığa çıkaran süreçleri yönlendiriyor olma olasılığı olan bu etki, tuhaf bir varsayımı, Mach ilkesini de açıklayabilir. Tüm bunların ötesinde, "Büyük Bütünleşmiş Kuram"ın anahtarını da taşıyor olabilir. Bütünleştirme, günümüzde kuramsal fizikçilerin önünde duran en büyük hedef. Kütleçekimi, şiddetli nükleer kuvvetler ve elektro-zayıf kuvvetler bir çatı altında toplanabilmeli; ama nasıl? Şimdilik spekülasyon düzeyinde olsa da, bunun anahtarının genel görelilik kuramının "düzeltmesinde" yattığı öne sürülüyor. Nobel ödüllü sahibi C. N. Yang'ın ifadesiyle, bu düzeltme, "bir biçimde spin ve dönme konusunda" yapılmalı. "Einstein'ın genel görelilik kuramı karşı koyulamayacak güzellikteyse de, düzeltilmeyi gerektiriyor... Bu düzeltme, alışılmış deneyler-

### Genel Görelilik, Kütleçekimi ve Eşdeğerlik Kronolojisi

- 1640: İsmail Bullialdus ters kare kuvvet yasasını öneriyor.
- 1665: Isaac Newton Ay hareketini inceleyerek ters kare kuvvet yasasını ortaya koyuyor.
- 1684: Isaac Newton, ters kare kuvvet yasasına göre incelendiğinde, gezegenlerin hareketlerinin Kepler yasasına uyacağını gösteriyor.
- 1798: Henry Cavendish evrensel kütleçekimi sabiti G'nin değerini hesaplıyor.
- 1845: Urbain LeVerrier, Merkür'ün yörüngesindeki bir asırdaki sapmanın değerini hesaplıyor.
- 1876: William Clifford, maddenin hareketinin uzayın geometrisindeki değişikliklerin sonucu olabileceğini öne sürüyor.
- 1882: Simon Newcomb, Merkür'ün yörüngesindeki sapma değerini farklı hesaplıyor.
- 1889: Roland von Eötvös, burulum terazisi ile, G sabitini bir milyarda birik duyarlılıkla hesaplıyor.
- 1893: Ernst Mach, Mach ilkesini öne sürerek, Newton'un mutlak uzayına ilk alternatifini oluşturuyor.
- 1905: Albert Einstein, özel görelilik kuramını tamamlıyor.
- 1907: Albert Einstein, eşdeğerlik ilkesini oluşturuyor ve bunu kullanarak, bir yıldız terk eden ışığın hızının kırmızıya kayacağını öngörüyor.
- 1915: Albert Einstein, genel görelilik kuramını tamamlıyor.
- 1918: J. Lense ve Hans Thirring, genel göreliliğe göre, jiroskopların gravitomanyetik sapmasını öngörüyor.
- 1922: Roland von Eötvös D. Pekár ve E. Fehete'nin de

- yardımlarıyla, burulum terazisini bu kez eşdeğerlik ilkesini sınamak amacıyla kullanıyor.
- 1937: Fritz Zwicky, galaksilerin kütleçekimsel mercekleme gibi davranışlarını açıklıyor.
- 1937: Albert Einstein, Leopold Infeld ve Banesh Hoffmann, genel göreliliğin jeodezik denklemlerinin kendi alan denklemlerinden çıkarılabileceğini gösteriyor.
- 1957: John Wheeler, klasik genel göreliliğin, tekililer ile sınırında çökebileceğini ve kuantum mekaniğinin gerekliliğini açıklıyor.
- 1960: Robert Pound ve Glen Rebka, eşdeğerlik tarafından öngörülen kütleçekimsel kırmızıya kaymayı, yüzde birlik hata payıyla test ediyor.
- 1962: Robert Dicke, Peter Roll ve H. Krofov, burulum terazisi ile, eşdeğerlik ilkesini 100 milyarda birik hata payıyla test ediyor.
- 1968: Kenneth Nordtvelt, eşdeğerlik yasasının olası bir açıkların Ay ve Dünya'nın, Güneş'in kütleçekim alanındaki hareketleri incelenerek yakalanabileceğini öngörüyorsa da, daha sonra bunun aksini gösteriliyor.
- 1976: Robert Vessot ve Martin Levine, kütleçekimsel kırmızıya kaymayı yaklaşık, yüzde 0.007 duyarlılıkla gözlemliyor.
- 1979: Dennis Walsh, Robert Carswell ve Ray Waymann, kütleçekimsel bir mercekleme gören Q0057 kuasarnı keşfediyor.
- 1982: Joseph Taylor ve Joel Weisberg, İkili pulsar PSR1913+16'daki enerji yitimi hızını hesaplayarak, bunun genel görelilik formülasyonu ile, yüzde beşlik bir hata payıyla uyum içinde olduğunu gösteriyor.

le ilintili olmayacak, çünkü, bu deneyler maddenin spin konusuna el atmıyor. Stanford deneyi, doğrudan spinle ilgilendiği için çok ilginç. Bu deneyin, Einstein'ın kuramıyla çelişik sonuçlar vermesine şaşırmazdım bile.<sup>77</sup>

GP-B ile yörüngeye gönderilecek jiroskopların saatte  $10^{11}$  dereceye kadar duyarlı referans sistemleri oluşturmaları bekleniyor. Bu, bilinen en duyarlı navigasyon sisteminin bir milyon katı duyarlı bir düzenek gerektiriyor. Aşılmiş navigasyon sistemlerinde, olası hatalar hesaplanır ve gözlem sonuçlarından çıkarılır. GP-B'de böyle bir yöntem izlemek doğru olmazdı. Kullanılacak jiroskopların mutlak (veya ona yakın) kusursuzlukta olmaları gerekiyor. GP-B ortamının yerdeki navigasyon sistemlerine göre büyük avantajları var. Uzay, bir jiroskop için istenilen tüm koşulları sağlıyor: ağırlıksızlık, havasız ortam ve mutlak sifıra yakın sıcaklık.

Schiff'in ortaya attığı etkilerin gözlemlenmesi için bir jiroskop ve bir uydudan fazlasına gereksinim var. Jiroskopun dış etmenlerden bütünüyle yalıtılması gerekiyor. Bu arada, jiroskopun spini etkilenmeden, spin doğrultusu 0.1 milisaniye duyarlılıkla kadar ölçülebilir. Ayrıca, güvenilir bir gözlem çerçevesine gereksinim var. Referans olarak bir yıldız kullanılacaksa, bu yıldız yeterince parlak olmalı ve uzay boşluğunda görelî hareketi çok iyi tanımlanmalı. Sürüklenme ve jeodezik etkilerin sonuçları etkin bir veri işleme yöntemiyle ayrı ayrı hesaplanabilmeli vb.

Kavramsal tasarım açısından GP-B oldukça sade bir araç. Merkezde, 50 cm uzunluğunda taşıyıcı bir kuvars blok bulunuyor. Bu bloğun üzerinde dört jiroskop, referans teleskopu ve sürüklenmesizlik kontrol kütlesi var. Tüm bu düzenek, yaklaşık üç metre uzunluğunda, yüksek vakum altında silindirik bir kap içine yerleştiriliyor. Bu kap ise, yaklaşık 1000 litre süperakışkan helyumla dolu dev bir Dewar şişesine konuyor. Dewar şişesi, içiçe iki duvarının arasındaki hava boşaltılmış, ısı yalıtıcı bir kap. Bu sayede, aracın iki yıl boyunca, mutlak sifırın 1.8 Kelvin üzerine kadar sıcaklıkta tutulması mümkün. Dewar şişesinin çevresi ise, süperiletken kurşun zarla kaplı. Bu, aracın iç kısmının Dünya'nın manyetik etkisinden neredeyse tümüyle korunmasını sağlıyor. Böylece, jiroskoplar: (1) düşük

20. yüzyılın başlarında yapılmış tipik bir navigasyon jiroskopu ve volanı. Bu tip jiroskoplarda, volan, kol gücüyle yüksek devir hızlarına çıkarılır ve volan eksenini tutan düşük sürtümlü bağlantılar sayesinde bu hız uzun süre korunabilir. Açısız momentumun korunumu ilkesine göre çalışan jiroskopların dönme ekseninin doğrultusu, her yönde serbest dönmeye izin veren çerçeve döndürülse de korunur. Böylece eksen ilk hareketin verildiği anki açısında kalır. GP-B'de kullanılacak olan jiroskopların volanları kusursuz kuvars kürelerden yapıldığı ve bunlar tümüyle sürtünmesiz ortamda döndükleri için, sözü edilen etki iyice sağlamlaşır. Bu sayede, jiroskopların eksen doğrultusunda, genel görelilik kuramında açıklanan sebeplerden dolayı hafif bir sapma gerçekleşmesi umuluyor.



sıcaklıkta, (2) düşük basınçta, (3) düşük manyetik alanda, (4) düşük çekim alanında tutulabiliyorlar ki, bu, GP-B'nin 7 sihirli "sıfıra yakın"ının dördünü oluşturuyor. Kalan üçü, jiroskop volanıyla ilgili...

Uzay aracı üzerindeki kuvvetler düşükse de sıfır değil. 640 kilometre yüksekteki bir yörüngede bile, atmosfer gazlarının sürüklenme etkisi gözlenebiliyor; tabii ki, kuyrukuyıldızların kuyruklarını Güneşten dışarıya iten Güneş radyasyonunun da... Bu ikincisinin yarattığı ivme, yerçekiminin on milyonda biri kadar küçük bile olsa, bu amaçla gönderilmiş bir jiroskop için çok yüksek bir değerdir. GP-B'nin tasarımcıları, bu dış etmenlerden yalıtılmış olduklarından emin olmak için büyüleyici bir yöntem bulmuşlar. Aracın ağırlık merkezindeki bir odacıkta, mutlağa yakın vakumda, boşlukta yüzen kusursuz bir küre yer alıyor. Bu küre, kendisini çevreleyen araç sayesinde tüm dış etmenlerden yalıtılmış biçimde kusursuz bir dairesel yörüngede dönecek. GP-B'de, ortasında boşlukta duran bu kontrol kütesini, gözetim altında tutarak, ona değmeden izlediği yörüngeyi takip edecek. Bu sayede, en az kontrol kütesi kadar duyarlı ve dış etmenlerden yalıtılmış bir yörünge izlenecek ki, bu, mutlak kusursuzluğa yakın bir sonuç. Bu kontrol kütesi de, dört jiroskop da, pinpon topu büyüklüğünde, üzeri çok ince, çok homojen, kimyasal açıdan saf, mekanik bakımdan dayanıklı, elektriksel yönden kararlı niobyum katmanıyla kaplı kusursuz küre biçimli kuvarstan yapılmış. Bu küreler, önceden sözü edilen 7 sihirli "sıfıra yakın"lığın kalan üçüne sahip: homojenlik, mekanik ve elektriksel kü-

resellik. Homojenlik, malzeme seçimiyle sağlanmış. Kuvars, kararlı ve soğurken düzgün biçimde büzülen bir maddedir. Şeffaf olduğu için, saflığı optik yöntemlerle test edilebiliyor. Küreler, 40 atom katmanına kadar duyarlı, hassas bir yüzeye sahipler. Dünya, aynı duyarlılıkta küreselleştirilebilseydi, en yüksek dağın zirvesiyle en derin okyanusun dibini arasındaki yükseklik 4 metre civarında olurdu. Sadece nötron yıldızları bundan daha küreseldir. Elektriksel küresellik, elektrik dipol momentinin niceliğiyle ölçülüyor. Söz konusu kürelerde bu değer sıfıra oldukça yakın. Küreler, iki parçadan oluşan ve birleştiklerinde küresel bir odacık oluşturan kapların içinde döndürülüyorlar. Küreyle kap arasındaki boşluk sadece birkaç mikron kadar. Bilim adamları bu noktada üç soruluk bir bilmeceyle karşılaşmışlar: Küreler, bu kabın içinde çepçeperele değdirilmeden nasıl havada tutulacak? Nasıl döndürülecekler ve yıllarca bu dönme hızında nasıl tutulacak? En çetrefilisi: Bu, kusursuz, işaretli kürelerin hareketi nasıl gözlemlenecek? Küreler, üç çift elektrotla uygulanan elektrik alanı sayesinde asılı tutuluyorlar. Yeryüzünde bunu gerçekleştirebilmek için 1000 voltluk gerilim uygulamak gerekiyor. Oysa yörüngede, 1 voltun altı yeterli.

Kürelerin döndürülmesinde izlenen yöntemin de, su değirmenlerindeki gibi pek farkı yok. Küresel odacığın iç çepçepelerindeki deliklerden ses hızına yakın hızda helyum üfleniyor. Yaklaşık yarım saatte maksimum hıza ulaşıp helyum akımı kesiliyor ve kısa sürede çok düşük bir vakum düzeyine iniliyor. Bu ilk hızla küreler 1000 yılda hızlarının yüzde birinden azını kaybederek nere-



*Kütleçekiminin, bugün artık kanıksanmış olan, ama gerçekten de tuhaf bir özelliği, tüm cisimleri aynı biçimde etkiliyor oluşu. Daha da tuhafı, cisimlerin ağırlıklarının yanı sıra, madde yapılarının da sonucu etkilemeyeşi. Daha sonraları Newton'un kafasını oldukça kurcalayacak bu durum, Galileo'nun da epeyi zamanını almıştı. Tarihte yazılanlara göre, Galileo, Aristo'nun reddedişine karşı somut bir kanıt oluşturmak için Pisa kulesinden iki farklı ağırlık bırakarak bunların yere aynı anda düştüklerini göstermişti. Fotoğrafta görülen araç, aynı etkiyi biraz daha duyarlı koşullarda sınamak için 18. yüzyılda yapılmış bir vakumlu kavanoz. Tüv ve altın paranın aynı ivmeyle düştüğü gözlemlenebiliyor.*

deyse sonsuza kadar dönebilecek bir duruma ulaşıyorlar. Kürelerin dönüş doğrultusunu sürece karışmadan ölçmenin sırrı süperiletkenlikte yatıyor. Dönmekte olan bir süperiletkenin dönme eksenini zayıf bir manyetik alana kendini belli ediyor. Bu alanın yönü ise, Süperiletkenlik Kuantum Girişim Aygıtı (SQUID) ile saptanabiliyor.

Süperiletkenler elektriği direnç göstermeden iletirler. Bu ünlü olgudan hareketle, fizikçi Fritz London, önemli bir etki keşfetmiş. Bu etki, dönen süperiletkenlerin yarattığı zayıf manyetik alanı açıklıyor ve London momenti adıyla anılıyor. Süperiletken niobyumla kaplı küreler, dönerken, yüzeydeki atomların elektronları yüzeyle birlikte dönmek yerine yerlerinde asılı kalıyorlar. Küreyle birlikte dönen her pozitif yük, alışıldık elektrik akımına benzer bir etki yaratıp, dönme eksenine paralel manyetik alan oluşturuyor. Buna tepki veren yüzey elektronları, zıt yönde manyetik alan oluşturuyorsa da, pozitif ve negatif yüklerin alanları arasındaki küçük fark, sonuç olarak çok zayıf bir manyetik alanın gözlemlenebilmesine olanak sağlıyor. Bu alanın yönü spin yönüne eş ve şiddeti spin açısal hızıyla orantılı olduğundan, kürenin hareketi hassas biçimde gözlemlenebiliyor.

Bu denli duyarlı jiroskopların eksenlerindeki küçük sapmaların bu kadar duyarlı biçimde ölçülebilmesi kusursuz bir gözlem çerçevesi olmadan hiçbir anlam taşıyor. GP-B ekibindeki araştırmacılar, jiroskoplarda olduğu gibi 0.1 milisaniye duyarlılıkta bir referans teleskopu yapmak için, mevcut yıldız izleme teleskoplarının 1000 katı duyarlılığa ulaşmak zorunda kalmışlar. Referans teleskopu da, tüm diğer aksam

gibi kuvarstan yapılmış, 20 ayrı kuvars parçadan oluşan teleskopun montajında yapıştırıcı, kaynak veya mekanik geçme kullanılmamış. Taşıyıcı gövde ve teleskopun her ayrıntısının birleşme yüzeyleri moleküler düzeyde birbirine tam oturacak şekilde üretilmiş. Farklı parçalarının birleşme yüzeyleri bir defa birbirine değdirildiğinde, sonsuza kadar ayrılmamacasına, moleküler çekim aracılığıyla yapışıyor.

Yıldızlar birer nokta değildirlir. Öyle olsalar bile, bir teleskopta, ışık kırınımı yüzünden yine de nokta olarak görünmezlerdi. Rigel, GP-B teleskopunun odağında, 1400 milisaniyeye denk düşen çapta bir görüntü oluşturacak. Bu görüntüyü 0.1 milisaniye duyarlılıkta gözlem yapmak için kullanmak lekenin optik merkezini, 0.1 milisaniye duyarlılıkla saptamayı gerektiriyor.

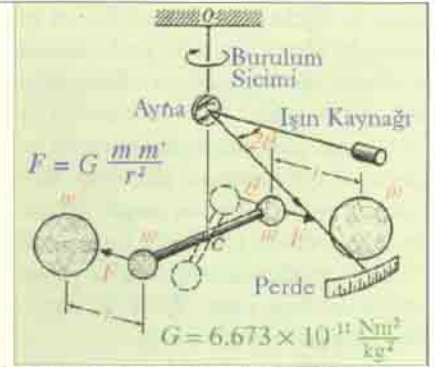
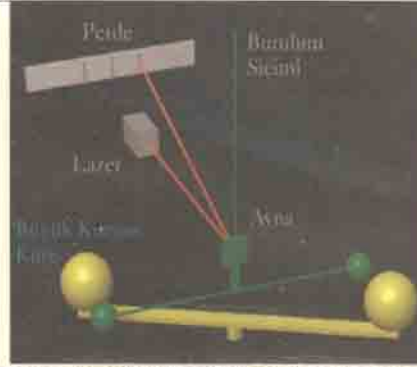
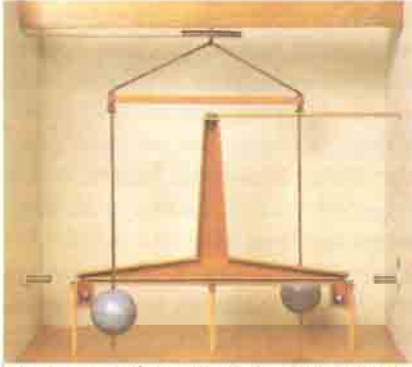
## Eşdeğerlik İlkesi Deneyi

GP-B ekibi uydularını geliştirendürsün, yine Stanford Üniversitesi'nde geliştirilen, neredeyse GP-B kadar eski bir proje, STEP (Eşdeğerlik İlkesi Uydusu Tesiti) için yürütülen araştırmalar da son hızla ilerliyor. Kardeş proje STEP, kütleçekiminin neden tüm cisimlerin aynı ivmeyle düşmesine yol açtığı sorusuna yanıt bulmayı hedefliyor. Eşdeğerlik ilkesi, Newton tarafından ortaya atılışından yıllar sonra Einstein tarafından ele alınmış ve genel görelilik kuramının temellerini oluşturmuştu. STEP, eşdeğerlik ilkesini, çökebileceği koşullarda test edebileceği gibi, kütleçekimi, temel parçacık fiziği ve jeodezik gibi konularda yürütülecek ayrı ayrı deneyler için de ideal uzay laboratuvarı oluşturacak.

STEP projesinin kökleri, Galileo'nun Pisa kulesine çıkıp, yere kıl pa-yı farkla düşen misket bilyasını ve top güllesini bıraktığı ünlü deneyine kadar uzanıyor. Bu deneyin sonucu, iki gerçek içeriyor; bunlardan biri bizim için oldukça açık (Aristo için açık değildi), diğeri ise kimse için açık değil. Açık olan, hava sürtünmesi önemsiz olduğu sürece farklı ağırlıkta iki cismin aynı ivmeyle düşeceği. Diğeri, kütleçekiminin farklı türden maddeleri aynı biçimde etkilediği. Bu ikinci gözlem, kütle, kütleçekimin yapısı ve diğer üç temel kuvvet, elektromanyetik, şiddetli ve zayıf kuvvetin bununla ilişkisi konusunda soru işaretleri doğuruyor. Macar fizikçi Roland von Eötvös, eşdeğerlik ilkesini 100 milyonda birkaçı bulan duyarlılıkta sınamıştı. Daha sonra, 1960'larda Robert Dicke ve başka bilim adamları bu sonucu 1000 kat daha duyarlı hale getirebilmişler. Buna göre, eşdeğerlik yeterince gerçek. STEP, eşdeğerliği  $10^{17}$ 'lik duyarlılıkla sınamayı amaçlıyor. Bunun için de uzay teknolojisi kullanılacak.

Pisa kulesinin 50 metre yerine 7000 kilometre yüksekliğinde olduğunu düşünün. Uzunluklar da "kılpayıyla" değil, milimetrenin bir milyarda biriyle ölçülsün (Bir atomun çapının binde biri). Sözü edilen ortam STEP'de birleşiyor. Kule, yörüngedeki uydunun yörünge yarıçapı yüksekliğinde; hassas ölçüm yöntemi ise, mutlak sifıra yakın sıcaklıklarda çalışan süperiletken bir devre. Araç, 6 çift silindirik test küresi taşıyacak. Üçü Avrupa üçü Amerika'da üretilen olacak. Büyük Dewar şişelerine yerleştirilip çok düşük sıcaklıklarda yörüngeye çıkarılacak olan bu kütle çiftlerinin birbirleriyle görelilik konumlarındaki küçük dalgalanmalar gözlemlenecek (En azından böyle umuluyor).

STEP uzay aracı, oldukça "dingin" koşullar sağlıyor. Araçtaki titreşim düzeyi, Dünya'da hayal edilebilecek tüm laboratuvar koşullarından düşük olduğundan, çok zayıf kuvvetlerin ölçülmesi için ideale yakın deney koşulları sağlanabiliyor. Dewar şişesinin içindeki ölçüm araçları, yerçekiminde, farklı konumlar arasındaki küçük kütleçekim etkisi değişimlerini de ölçebilecek. Bu ölçümlerin, okyanusların yapısı ve iklimlerin doğası hakkında önemli ipuçları vermesi bekleniyor.



1798 yılında, İngiliz bilim adamı Henry Cavendish'in, evrensel kütleçekimi sabiti G'yi, bundan yola çıkarak da Dünya'nın kütlelerini hesaplamak için kullandığı, o da büyüklüğünde düzenek. Burulum terazisi adıyla anılan düzenek, bükülme direnci belli bir sicim, ikisi hafif, ikisi ağır dört kütle ve uygun bir ölçüm aracından oluşuyor. Bugün artık liselerde öğretilen standart formülleri kullanarak bu düzenekle G'yi hesaplamak olası. Cavendish deneyi, bugüne kadar sayısız kişi tarafından farklı duyarlıklarda gerçekleştirilmiş. STEP uzay aracında kullanılacak ölçüm düzeneği, yeryüzünde gerçekleştirilebilecek tüm Cavendish düzeneklerinden kat kat duyarlı sonuçlar verebilecek

Newton, 1686'da "Şu ana değin pek çok kişi tarafından gözlemlendi ki, eş yükseklikten bırakılan tüm ağır cisimler yere aynı zamanda düşerler" demişti. Bu özellik, kütleçekimini diğer etkilerden çok farklı bir konuma oturtuyor. Söz gelimi manyetizmayı ele alalım: Dünya bir mıknatıs topu olsaydı, demir ve çelik diğer maddelerden çok daha hızlı düşecek, zıt kutuplu mıknatıslar iyice hızlanacaklardı. Yerçekimi ise, şartları biçimde maddeler arasında fark gözetmiyor. Ortaya çıkan kuvvet, tüm maddeler için ortak bir parametreyle, kütleyle orantılı. Newton, nesnelerin ağırlığını (yerçekimine tepkisini) "içerdiği madde miktarıyla" ilişkilendirmişti.

Newton ve 18. yüzyıl kimyacılarına göre kütle mutlaktı. 1881'de, henüz 24 yaşında olan J. J. Thomson bu inancı bir ölçüde yıkabildi. Thomson, James Clerk Maxwell'in bulduğu elektromanyetik kuramından yola çıkarak, kendi alanında hareket halinde olan yüklü bir parçacığın, olağan kütlelerinin yanı sıra "elektromanyetik kütle" de bulunması gerektiğini, bunun suda hareket eden bir geminin, beraberinde sürüklediği suyla kazandığı fazladan kütleyle benzer bir durum olduğunu açıkladı. Thomson, 16 yıl sonra elektronu keşfettiğinde bu parçacığın kütlelerinin bütünüyle "elektromanyetik kütle" olduğunu bildirdi. Bugün bu görüşün aksine inanılıyorsa da, Thomson'un kütle hakkında ortaya koyduğu pek çok şey hâlâ çözümsüz birer problem olarak varlığını koruyor.

Newton, gözüne üç mutlak kestirmişti: Uzay, zaman ve kütle. Daha sonraları, Maxwell, elektromanyetizma kuramını oluştururken bu niceliklerin mutlaklığı şüpheli bir hal aldı. Newton

mekanikğini genelleştirerek Maxwell teorisine barıştırma işi, 1905'te görelilik kuramını formüle ederken Einstein'a düştü. Einstein, ışık hızını yegane mutlak belirleyip uzay ve zamanı görelî bir biçimde tanımlamıştı.

Einstein, kütleçekimi için yeni bir kuram arayışına başladı. Einstein'ın düşüncesine göre, Newton'un  $F=ma$  şeklinde formüle ettiği hareket yasasına uyan 'm' kütle ile, yine Newton tarafından formüle edilen ters kare kuvvet yasasındaki ( $F=-GMm/r^2$ ) kütlelerin farklı, ancak eşdeğerli oldukları idi. O zamana değin, tüm fiziksel formüllerde yer alan kütle değişkenlerinin aynı anlamda olduğu düşünülüyordu. Einstein'ın bu düşüncesi ve geliştirdiği eşdeğerlik yasasını ortaya koyan örneklerden biri de, ünlü 'asansör deneyi' örneğidir.

Bu örneğe göre, kapalı bir asansörün içinde yer alan gözlemcinin oluşturduğu gözlem çerçevesi içinde ele alındığında, gözlemcinin ayaklarının yere sıkı basmasına yol açan ivmenin, alt düzey doğrultudaki bir kütleçekimi kaynağı, cismin mi, yoksa, asansörün bir kuvvet etkisinde yukarı doğru yaptığı ivmeli hareketin bir sonucu mu olduğunu ayırt etmek olanaksızdır. Bu gözlem çerçevesi içinde yapılacak kütle ölçümleri, kütleyle yol açan nedenden bağımsız olarak, eşdeğerlidir.

Böylece, kütle hakkındaki kalıplaşmış yargılar temelden sarsılmış oldu. Bu, Einstein'ın kütleçekimin uzay zamanın eğriliği olarak tanımlanması fikrinin başlangıcıdır. Einstein'a göre, elektrik alanı gibi kütleçekim alanının da kütle olması, bir kütleçekim kaynağı olarak çevresindeki uzay zamanı daha da bükmesi gerekir.

## Eşdeğerlik ve Modern Fizik

1896'da Henri Becquerel'in potasyum uranil sülfat'ın fotoğraf levhasını kararttığını gözlemleyerek radyoaktiviteyi keşfetmesinin, atomun sırlarını açığa çıkaracağını o zamanlar kim bekleyebilirdi? Radyoaktif elementler üç tür ışınım yaymaktadırlar:  $\alpha$  (yüksek helyum atomları),  $\beta$  (yüksek hızlı elektronlar) ve  $\gamma$  (x ışınlarından daha yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar) 1910'da, Ernest Rutherford, ince metal levhalardan saçılan elektronlarla ilgili bir deneyiyle atomların hemen tüm kütlelerinin,  $10^{-12}$  milimetre çapında bir çekirdekte toplandığını ortaya koydu.

Rutherford'un keşfini Niels Bohr'un atom modeli ve 1926'da modern kuantum mekaniği kuramı izledi. Fizik oldukça sadeydi: Atom, pozitif(+) yüklü çekirdek ve negatif(-) yüklü elektronlardan oluşuyor; bunları da elektromanyetik kuvvetler birarada tutuyordu. Sonra nötronlar bulundu ve böylece, çekirdeğin nötronlarla protonlardan oluştuğu, bunların da "şiddetli kuvvet" denilen, erimi bir çekirdeğin yarıçapını geçmeyen kuvvetlerle birarada tutulduğu anlaşıldı. 1937'de Hideki Yukawa, bu kuvvetin sonlu kütleli parçacıkların alışverişiyle doğduğunu ortaya attı. Şiddetli kuvvetlerin taşıyıcısı olan ve "mezon" adı verilen parçacıkların, elektronunkütleyle protonunki arasında bir kütleyle sahip olduğu belirlendi. Kozmik ışın fizikçileri, iki tip mezon olduğunu ortaya koydular: Yukawa'nın 'pion'u ve şu tuhaf 'ağır elektrom', 'muon'.

Bugün, CERN, Fermilab gibi hızlandırıcılarda yapılan deneyler sayesinde yüzlerce parçacık biliniyor. Bunlar üç ailede toplanıyorlar: leptonlar (elektron,

muon ve bunların nötrinoları), baryon ve mezonlar olmak üzere iki gruba ayrılan hadronlar, bir de, bunların etkileşimini sağlayan bozonlar. Bozonlar arasında en iyi bilineni, elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı ve ışık kuantumu olan foton. Bulmacanın geriye kalan son parçası da, şiddetli kuvvetlere göre daha kısa erimli "zayıf kuvvetler" in bulunuşuyla yerine kondu. Zayıf kuvvetler,  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$  adı verilen parçacıklarla taşıyor.

Bu standart model birkaç yüz GeV'lik (Giga elektron Volt: 1000 protonun kütle-sinin enerji karşılığı) enerji seviyelerine kadar gayet başarılı. Bunun çok ötesine ulaşıldığında ne olacağı bugün çok açık gözüküyor. Yani, standart modelle ilgili yegane soru işareti, laboratuvarlarda çok yüksek enerji düzeylerine çıkılabildiğinde yapılması gereken yeni genelleme konusunda. Yine de, modelin eşdeğerlik açısından önemli sınırlamaları var. Einstein, kütleçekimi ve elektromanyetik kuvveti bütünleştirmek istemişti ve başarısız kalmıştı. Standart model, elektromanyetik ve zayıf kuvvetleri bütünleştiriyorsa da, ortaya çıkan elektrozaıf kuvvetin, şiddetli kuvvetle bağdaşması henüz sorunlu. Kütleçekimi ise büsbütün ayrı düşüyor.

Bugün kimi fizikçiler, tüm bu cephe-leri kapsayacak "Herşeyin Teorisi" nin hayaliyle yanıp tutuşurken kolay altından kalkılamayacak bir problemle yüzyüze kalıyorlar. Elektrozaıf kuvvetlerin birleşmesi ancak ve ancak kuvvetlerin belli bir enerji ölçeği üzerinde eşleştirilmesi ile gerçekleşebilmişken, "Herşeyin Teorisi" için gereken ölçek değerleri, mevcut olandan  $10^{16}$  lik bir katsayıyla sapıyor.

Süpersimetri gibi kuramlarla daha yetkin modellerin peşine düşen fizikçiler, beklenmedik yan ürünlerle karşılaşılıyorlar. Yeni uzun erimli kuvvetlerin varlığıyla ilgili ipuçları beliriyor. Bu, kütleçekimine yakın güçte kuvvetler kütleyle değil, baryon sayısı ve lepton sayısı ile ilgili görünüyor.

STEP, herbiri değişik maddelerden üretilmiş 200'er gramlık oniki test kütlesi kullanarak yedi ayrı eşdeğerlik deneyi yapmaya olanak verecek. Kütleler uyduya eşmerkezli çiftler halinde, yanlara hareket etmeleri engellenmiş, ama ekseninde hareketleri serbest bırakılmış biçimde yerleştirilecekler. GP-B deneyinde olduğu gibi, tüm düzenek, sıvı helyum tarafından soğutulan dev bir Dewar şişesine oturtulacak. Yörüngeye dik hareketi ser-



best olan kütleler üzerindeki yerçekimi ivmesi ( $g$ ) ve merkezci ivmesi ( $\omega^2 r$ ) değerleri dengeli olduğundan, eşdeğerlik ilkesi gereği kimildamaları gerekiyor.

Eşdeğerliğin testi için Galileo, kütleleri serbest düşmeye bırakmış, Newton ise sarkaçların salınım zamanlarını ölçmüştü; ama, en önemli atılım 1890'da Eötvös tarafından sağlandı. Araç, düşey bir tele bağlı yatay bir kol üzerine dizilmiş farklı kütlelerden oluşuyordu. Bu sayede, eşdeğerlik ilkesinin doğruluğu, onbinde birlik bir duyarlılıkla ölçülebildi. Yine de STEP, daha çok Galileo'nunkine benzeyen bir yöntem kullanıyor.

Peki neden Eötvös'ün aygıtını STEP uydusuna uyarlamak cazip bir seçenek değil? Yakındaki bir cismin düzenekteki kütleler üzerindeki etkisini ele alalım. Düzenegın kollarına asılı kütlelerden birisi, çekim kaynağına diğerinden daha yakınsa, kolun açısı eşdeğerlik ilkesi ihlal ediliyormuş gibi bir izlenim bırakacak şekilde değişebilir, Eötvös bile, yeryüzünde deneyini yaparken kendi bedeninin, kütleçekimi etkilenmemesi için düzenegından uzak durmaya çalışmış. Uzayda, eşdeğerliği  $10^{-17}$  gibi bir duyarlılıkla sınımayı amaçlayan bir uyduda deneyinde bu gibi etmenlerin varlığının şakası bile yapılmamalıdır.

Kuantum mekaniğinin, açısal momentum kavramıyla da ilgili olan bir yorumu, tüm temel parçacıkların "spin"leri olduğu. Miknatisin elektrik yüküyle bağintısına benzer bir bağintının spin ile "madde yükü" arasında da kuraacak yeni kuvvetler aranıyor. Bugüne değin bu kuvvetlerin varlığına ilişkin araştırmalar hep sonuçsuz kaldı. STEP birkaç milimetreye kadar erimli kuvvetleri 10 milyonda bir duyarlılıkla ölçebilecek.

Newton'un ters kare kuvvet yasası,  $G$  Newton sabiti olmak üzere, kütleçekimini  $G Mm/r^2$  şeklinde formüle ediyor. İşin

cazip yanı, Newton'un  $G$ 'nin değerini bilmeye gerek duymayışı. Güneş Sistemi konusunda çalışırken, uzaklık ve kütle oranlarını bilmek hesaplar için yeterli oluyor. Newton'dan bir asır sonra, astronom Nevill Maskelyne, İskoçya'nın bir dağdaki su borusu hattının eğrilik derecesinden yola çıkarak  $G$ 'nin değerini kabaca hesaplayabilmiş. Şimdi, aradan geçen 200 yıldan sonra bile bu değeri ancak onbinde bir duyarlılıkla bilebiliyoruz. STEP deneyiyle, bunun bir milyonda bir çıkarılması planlanıyor.

Jeodezi, Dünya'nın biçimiyle ilgili bir bilim dalı. Ancak, Dünya'nın bir fiziksel, diğeri kütleçekimsel olmak üzere iki şekli var. Fiziksel açıdan, düzgün okyanus yüzeyleri ve kıta kabartılılarıyla belirlenen bir yüzey yapıyla karşı karşıyayız. Kütleçekimsel küre, "geoid" ise, gözle görünmeyen ve her noktada kütleçekim doğrultularıyla dik açı yapan, bir yüzey. Geoid formuyla ilgili bilgi, çevre koruma, iklim, jeoloji gibi alanlar için önem taşıyor. STEP sayesinde, Geoidin formu hakkındaki bilgimiz 10 kat artacak. Tüm bu ölçümlerin duyarlı biçimde yürütülmesi için STEP'in geometrik tasarımı da GP-B'ninki gibi sade ve dahiyane biçimde hazırlanmış. STEP, yaklaşık bir ton ağırlığında 2 metre genişliğinde, 3 metre uzunluğunda oktagon bir kütle. Ağırlığın yaklaşık 500 kilogramını Dewar kabı ve deney düzenekleri oluşturuyor. STEP, 550 kilometre yükseklikte, kutupların hemen hemen üzerinden geçen bir yörüngeye oturtulacak. Yörünge, Dünya-Güneş doğrultusuyla dik olacak şekilde yavaşça sapacak. Bu sayede araç sürekli Güneş ışığı altında olacağından, sıcaklık düşüş ve artışlarının deney verilerini etkilemesi önlenilecek. Eğer uzay programı politikası ve finansman akışında aksaklık olmazsa, GP-B gibi STEP'in de 2000 yılı dolaylarında yaşama geçirilmesi bekleniyor. Bu iki proje, Büyük Patlama'dan kalan arka plan ışımasını ölçerek patlamaya kanıt toplayan COBE uydusundan bu yana, uzayda gerçekleşecek en önemli temel fizik deneyi olacak. COBE, Büyük Patlamayla saklambaç oynamış ve başarılı olmuştu. Bakalım GP-B ve STEP genel göreliliği "COBE" leyebilecek mi?..

Özgür Kurtuluş

Konu Danışmanı: Tekin Dereli  
Prof. Dr., ODTÜ Fizik Bölümü

Kaynaklar  
Stanford Üniversitesi, Güncel Web Sayfalar <http://engr.stanford.edu/RELATIVITY>  
NASA Ara Web Sayfaları <http://www.nasa.gov>

geleceđi  
bugüne taşımak...

