

MR. TOMPKINS'İN SERÜVENLERİ

George GAMOV

PROFESÖRÜN KÜTLE ÇEKİMİ VE EVREN HAKKINDAKİ KONFERANSI

uzakta bulunsun ki, içinde hiçbir kütleçekimi kuvveti olmaksızın, boşlukta serbestçe yüzüyor olsun. Bu roketin içindeki tüm cisimlerin ve seyahat eden deneycinin ağırlığı olmayacak ve aynen Jules Verne'nin meşhur hikâyesinde Ay'a giden Michel Ardent ve yol arkadaşları gibi havada serbestçe yüzebileceklerdir.

Şimdi motorlar çalıştırılsın, roketimiz hareket etmeye başlasın, giderek hız kazansın. Roketin içinde ne olacaktır? Roket hızlandıkça içindeki tüm cisimlerin tabana doğru gitme eğilimi ya da başka türü söyleysek, tabanın cisimlere doğru yaklaşma eğilimi göstereceğini kolaylıkla kestirebiliriz. Örneğin, eğer deneycimiz elinde tuttuğu bir elmayı bırakırsa, elma (çevredeki yıldızlara göre) sabit bir süratle hareketine devam edecektir. Elmanın bu sabit sürati, tam bırakıldığı anda hareketli roketin sahip olduğu sürattir. Ancak roketin hızı artmaktadır. Bunun sonucu olarak roketteki kabinin tabanı giderek hızlanıp elmaya yetişecek, ona çarpacaktır. Bu andan itibaren elma kabinin tabanı ile sürekli olarak temasta kalacak ve ivme (hızlanma) sebebi ile tabana bastırılacaktır.

Ama, içerdeki deneyci için, bu olay sanki elma belli bir ivme ile "aşağı düşüyor" muş ve tabana çarptıktan sonra da kendi ağırlığı ile bastırılmış gibi görünecektir. Farklı cisimleri düşürerek, tüm cisimlerin aynı ivme ile (hava sürtünmesini ihmal ederse) düştüklerini gözleyecek ve bunun GALİLEO GALİLEİ tarafından bulunan serbest düşme kuralı olduğunu hatırlayacaktır. Gerçekte, kendi ivmeli kabinindeki olay ile bilinen kütleçekimli olayı arasında en ufak bir fark bile ayırt edemeyecektir. Sarkaçlı saati kullanabilecek, kitaplarını havada uçuşa tehlikesi olmaksızın raflara yerleştirebilecek ve ilk defa ivmeli referans sistemi ile kütleçekiminin eşdeğer, illijini işaret ederek bu temele dayalı genel relative teorisi adı verilen teoriyi geliştiren Albert Einstein'ın portresini de duvardaki bir çiviye asabilecektir.

Ama burada da, aynen dönen platform örneğinde olduğu gibi, kütleçekimi konusunda çalışırken Galileo ve Newton tarafından bilinmeyen

Bayanlar, Baylar .
Şimdi, son konuşmamda konu ettiğimiz deneyçileri yeniden ele alalım. Varsayalım ki, deneyçilerimiz yaptıkları geometrik ölçmelerden elde ettikleri olağanüstü sonuçların sebebi hakkında biraz düşünsünler. Ve yine varsayalım ki, platformları tamamen kapalı olsun. Yani, pencereli olmayan ve dönen bir oda olsun. Bu durumda deneyçilerimiz, çevreye göre hareket ettiklerini de göremeyeceklerdir. Platformun, üzerine monte edildiği "katı toprağa" göre dönmesine bağlanmaksızın, gözledikleri tüm sonuçları, sadece platformdaki fiziksel şartlar ile açıklayabilirler mi?

Platformdaki fiziksel şartlar ile "katı toprak" üzerindeki fiziksel şartlar arasındaki farklar vasıtası ile geometride gözlenen değişiklikler açıklanabilir. Deneyçiler bu farklılara bakarak, tüm cisimleri merkezden çevreye doğru çeken yeni bir kuvvetin varlığını anlayacaklardır. Tabii bu kuvvetin etkisinin gözlenen tesirlerini, örneğin iki saatten, merkeze, bu yeni kuvvetin etki doğrultusunun yönünde daha uzak olanın daha yavaş işleyeceğini söyleyerek açıklayacaklardır.

Ama, acaba bu kuvvet, gerçekten "katı toprak" üzerinde gözlenemeyen yeni bir kuvvet midir? Her cismin Dünya'nın merkezine doğru, yerçekimi kuvveti diye isimlendirilen bir kuvvet ile çekildiğini gözlemiyor muyuz? Kuşkusuz, bir durumda dâkin çevresine doğru bir çekim, diğerinde ise Dünya'nın merkezine doğru bir çekim söz konusudur; ancak bu, sadece kuvvetlerin değerinde bir fark olduğu anlamına gelir. Bununla beraber, referans sisteminin düzgün olmayan hareketinden kaynaklanan ve bu konforuna salonundaki kütleçekimi kuvvetine tamamen benzer olan, başka bir "yeni" kuvvet örneği vermek kolaylıkla mümkündür.

Bir roket düşünün. Yıldızlar arası yolculuk için yapılmış olsun. Uzayda yıldızlardan o kadar

ın olaya dikkat edeceğiz. Kabini boylu boyunca geçen bir ışık ışını eğimli bir yol çizecektir ve roketin ivmesine bağlı olarak karşı duvarda asılı olan ekranın farklı yerlerini aydınlatacaktır. Bu olay dışarıdaki bir gözlemciye göre kuşkusuz ışığın düzgün çizgisel hareketi ile gözlem kabini'nin ivmeli hareketinin üst üste binmesi şeklinde yorumlanacaktır. Geometri de bozulacak. Üç ışık ışını ile teşkil edilen üçgenin açılarının toplamı iki diğ. açıdan büyük olacak ve dairenin çevresinin yarıçapa oranı π sayısından büyük olacaktır. Burada ivmeli sistemlerin en kolay iki örneğini inceledik; ama yukarıda söylenen eşdeğerlik katı ya da şekil değişikliğine uğrayabilen bir referans sisteminin herhangi bir hareketi için geçerlidir.

Şimdi çok önemli olan bir soruya geçiyoruz. Az önce gördük ki ivmeli bir referans sisteminde, kütleçekimi alanında bilinmeyen birkaç olayı gözlemek mümkündür. Işık ışınının eğilmesi ya da bir saatin yavaşlaması gibi olan bu olaylar büyük kütleler tarafından yaratılan kütleçekimi alanlarında da var mıdır? Ya da, diğer bir deyiş ile, acaba ivmenin etkileri ile kütleçekiminin etkileri, sadece birbirlerine çok benzer değil de, tipatip aynı mıdır?

Kuşkusuz her ne kadar bu iki çeşit etkinin tamamen eşdeğer olduğunu kabul etmek durumunda olsak bile, en son cevap ancak deneylerle verilebilir. Ve insan zekasının (ki her zaman evren kanunlarının basit ve kendi aralarında tutarlı olmalarını ister) büyük bir hazla kabul ettiği sonuç, deneylerin bu yeni olayın varlığını bilinen kütleçekimi alanında da ispat etmiş olmalarıdır. Kuşkusuz ivmeli ve kütleçekim alanlarının eşdeğerliliği hipotezi ile öngörülen etkiler çok küçüktür. Ancak bilim adamları o etkileri aramaya başladıkları sonra keşfedilmelerinin sebebi de budur.

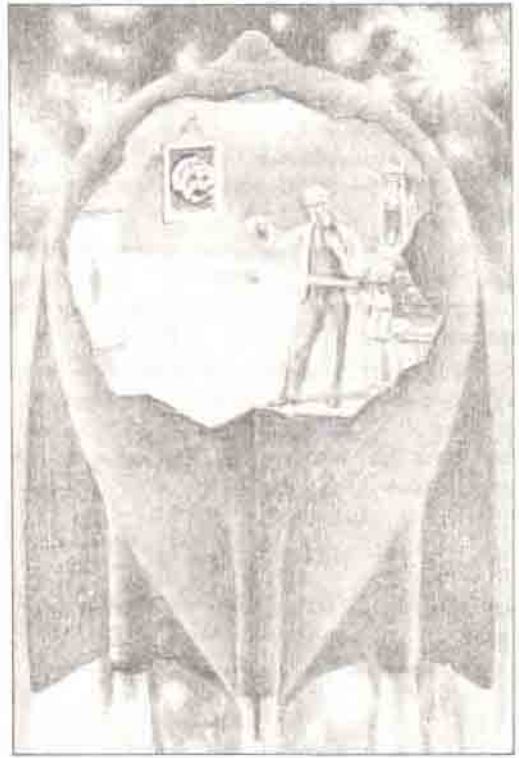
Yukarıda bahsedilen ivmeli sistemler örneğini kullanarak, en önemli iki relativistik kütleçekim olayının büyüklük sırasını kolayca tahmin etmek mümkündür: Saatin çalışma hızındaki değişim ve ışık ışınının eğimi.

Dönen platforma saatin "yavaşlama faktörü" nü

$$1 - \frac{W}{c^2} \quad (1)$$

ile göstermek mümkündür. Bu ifade platformdaki yerine göre saatin işlemindeki yavaşlama katsayısını kütleçekimi potansiyel farkı (W)

cinsinden vermektedir. Burada $W = \frac{1}{2} R^2 \omega^2$



Taban sonunda almaya yetiyecek ve ona çarpcaktır.

dir. ω platformun açısal hızı, R de saatin merkezden olan uzaklığıdır.

Saatlerden birisini 300 m. yüksekliğindeki Eyfel Kulesi'nin bodrumuna, diğerini ise en üst ucuna yerleştirirsek bunların arasındaki potansiyel farkı o kadar küçük olacaktır ki bodrumdaki saat tepedekinden sadece 0.999.999.999.999.97 faktörü kadar yavaş işleyecektir.

Diğer taraftan, Dünya'nın yüzeyindeki çekim potansiyeli ile Güneş'in yüzeyindeki çekim potansiyeli birbirinden çok daha fazla farklıdır ve yavaşlama faktörü 0.999.999.5'dir. Bu faktör çok incelikli ölçmeler yaparak fark edilebilir. Kuskusuz hiç kimse Güneş'in yüzeyine bildiğimiz bir saati yerleştirip nasıl işlediğine bakamaz! Fizikçilerin daha uygun yöntemleri vardır. Spektroskop kullanarak Güneş'in yüzeyindeki farklı atomların titreşim periyotlarını ölçebilir ve bunu laboratuvar da bir Bunzen beki alevine tutulan aynı elementin atomlarının periyodu ile karşılaştırabiliriz. Güneş'in yüzeyinde bulunan atomların titreşimi (1) formülündeki faktör kadar yavaşlamış olmalıdır.

Bu sebepten o atomlardan yayınlanan ışık, yer-yüzünde aynı kaynaklardan yayınlanırlara göre daha kırmızımsı olmalıdır. Gerçekte bu "kırmızı kayması" Güneş'in ve birkaç başka yıldızın tayfında gözlenmiştir. Güneş'in ve bu yıldızın tayfı tam olarak ölçülebilmekte ve sonuçlar bizim teorik formülümüzle verilenlere tamamen uymaktadır.

Böylece kırmızı kaymasının varlığı, yüzeyindeki büyük kütleçekimi potansiyelinden dolayı Güneş'teki işlemlerin daha yavaş ilerlediğini ispat etmektedir.

Kütleçekimi alanında ışık ışınının ne kadar eğildiği hakkında bir fikir sahibi olabilmek için az önce konu ettiğimiz roket örneğini kullanalım. Roket kabının genişliği l ise, ışığın bu mesafeyi alması

$$t = \frac{l}{c} \quad (2)$$

kadar zaman sürer. g ivmesi ile hareket eden roket bu zaman süresi içinde

$$L = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \frac{l^2}{c^2} \quad (3)$$

kadar yol alacaktır. Böylece ışık ışınının doğrultusundaki değişimi veren açının büyüklüğü

$$\varnothing = \frac{L}{l} = \frac{1}{2} \frac{g l}{c^2} \quad (4)$$

olarak ortaya çıkar. Işığın kütleçekimi alanında aldığı yol olan l ne kadar büyük ise \varnothing da o kadar büyük olacaktır. Buradaki roketin g ivmesi kuşkusuz yerçekimi ivmesi olarak yorumlanmalıdır. Konferans salonunda bir uçtan diğerine bir ışık demeti gönderirsem l 'yi yaklaşık olarak $l = 1.000$ cm. olarak alabiliriz. Yeryüzü üzerinde kütleçekimi ivmesi $g = 981$ cm/sn²'dir. Işık hızı da $c = 3 \times 10^{10}$ cm/sn olduğuna göre

$$\varnothing = \frac{100 \times 981}{2 \times (3 \times 10^{10})^2} = 5.10^{-16} \text{ radyan} = 10^{-16} \text{ sn} \quad (5)$$

(yay parçası) elde ederiz.

Böylece, görüyorsunuz ki bu şartlar altında ışığın eğimi gözlenemez. Ama güneş yüzeyinde g 27.000'dir ve Güneş'in kütleçekimi alanında alınan toplam yol da çok büyüktür. Yarıpın incelikli hesaplara göre Güneş yüzeyinin yakınından geçen ışık ışınındaki sapma 1.75" olmalıdır. Gerçekten tam güneş tutulması sırasında Güneş'in çok yakınında görünen yıldızların yerlerinde astronomların gözledikleri yer değiştirme tam bu değeri tutmaktadır. Anlaşıyor ki burada da gözlemler ivme ile kütleçekimi etkilerinin birbirinin

tamamen aynı olduğunu göstermektedir.

Şimdi uzayın eğimi ile ilgili problemimize yeniden dönelim. Hatırlayacaksınız ki düz çizginin en rasyonel tanımını kullanarak hareketi düzgün olmayan referans sistemlerinde geometrinin Euclid geometrisinden farklı olduğu ve uzayların, eğimli uzaylar olarak düşünülebileceği sonucuna varmıştık. Herhangi bir kütleçekimi alanı da bir referans sisteminin ivmesine eşdeğer olduğu için, kütleçekimi alanının içinde var olduğu herhangi bir uzay da eğimli bir uzaydır. Ya da bir adım daha ileri giderek diyebiliriz ki **kütleçekimi alanı uzay eğiminin sadece fiziksel bir ifadesidir.** Böylece her noktadaki uzay eğimi kütlelerin dağılımı ile tayin edilmelidir. Uzayın eğimi, büyük kütleli cisimlerin yakınında maksimum değerine ulaşır. Burada eğimli uzayın ve onun kütle dağılımına olan bağımlılığının özelliklerini veren oldukça karmaşık matematik sistemlere giremeyeceğim. Sadece bu eğimin genellikle bir sayı ile değil, farklı on sayı ile tayin edildiğini belirtmek isterim. Bu sayılar kütleçekimi potansiyeli bileşenleri $g_{\mu\nu}$ olarak bilinirler ve klasik fizikteki daha önce W olarak isimlendirdiğim kütleçekimi potansiyelinin genelleştirilmiş halini temsil ederler. Bununla bağımlı olarak, her noktadaki eğim çoğu zaman $R_{\mu\nu}$ ile gösterilen on farklı eğrilik yarıçapı ile tasvir edilir. Bu eğrilik yarıçapları, Einstein'ın esas denklemi olan

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -K T_{\mu\nu} \quad (6)$$

denklemi ile kütlelerin dağılımına bağlanmıştır. Burada $T_{\mu\nu}$ yoğunluklar, süratler ve büyük kütlelerin meydana getirdiği kütleçekimi alanının diğer özellikleri ile ilgilidir.

Bu konuşmayı sona erdirmek için (6) denkleminin çok ilginç sonuçlarından birisine değinmek istiyorum. Kütlelerin düzgün olarak doldurulmuş bir uzay düşünürsek, (örneğin bizim uzayımız yıldızlar ve stellar sistemlerle doludur), (arada bir ayrı yıldızlara yakın büyük eğimlerden başka), uzay düzenli olarak büyük mesafelerde düzçin şekilde eğim yapma temayülü gösterir. Matematik olarak birkaç farklı çözüm vardır. Bunlardan bazıları, en sonunda uzayın kendi üzerine kapancasını ve bu sebepten sınırlı bir hacmi olduğunu belirler. Diğerleri de bir önceki konuşmamda bahsettiğim eğer yüzeyine benzer bir sonsuz uzayı temsil ederler. (6) denkleminin ikinci önemli sonucu da böyle bir eğimli uzayın sürekli bir genişleme ya da daralma halinde olmasıdır. Genişleme fiziksel olarak uzayı dolduran parçacıkların uçarak birbirlerinden uzaklaşması, daralma ise birbirlerine yaklaşması, anla-



AYIN İLGİNÇ GÖK OLAYLARI

Ne yazık ki, ilköğretim programında öğretilmesine karşın, ortaöğretim öğrencilerinin yüzde ellisinden fazlası mevsimlerin oluşumu sorulduğunda bunu, Dünya'nın elips yörüngesinde Güneş'e yaklaşıp uzaklaşmasına bağlar. Ne kadar ilginçtir ki, Dünya'mızın Güneş'e en yakın olduğu an kış mevsimine denk gelmektedir. Yeni yılımızın 4 Ocak günü saat 01'de Dünya'mız Güneş'e 14.796.399 km. uzaklıkta olacak.

Ocak ayında tüm gezegenler sabah gökyüzünü süslediğinden, meydana gelen yakın konumların çoğu da yine sabaha karşı olacak. (Örneğin 25 Ocak günü Mars, Ay'ın 1°. 6 güneyinde olacak.) 28 Ocak günü sabah saat 04.'de Ay, Satürn gezegenini örtecek, 27 Ocak günü ise Venüs Jüpiter'le yan yana bulunacak. Bu son olayda periaok olanın Venüs, diğerinin Jüpiter gezegeni olduğunu unutmayın. 29 Ocak günü Ay, Jüpiter'le, 30 Ocak günü Venüs'le, 31 Ocak günü ise Merkür ile yan yana olacak.

22 Ocak günü Merkür gezegeni en büyük batı uzanımında olacak. O gün sabah Güneş'le arasındaki açı 24° dir ve sabah gökyüzünde görmek çok kolaydır. 1-6 Ocak arası ise Ouzdantid göktaşı yağmuru var. 4 Ocak günü maksimum düzeye ulaşacak bu yağmurda, göktaşları sönük mavimsi, gümüş renkli izleri ile gökyüzünü süsleyecektir.

Her ay sizlere gözlemleniz ve fotoğrafla-



rını çekmeniz için olabilecek gök olaylarını bu köşede yazmaya çalışıyorum. Bilim ve Teknik'in yaz sayılarında, Güneş'i batarken gözlemeni önermiştim. Özellikle deniz üzerinde batarken çok kısa süren bir yeşil parlamayı göreceğini yazmıştım. İzmir İnönü Lisesi'nden Serap Üstündağ arkadaşınız, Güneş batarken çok duyarlı bir gözlem yapmış, kısa süreli yeşil parlamayı değil; ama çevrende sütun halinde yükselen üç yeşil ışıma görmüş. Aynı olayı Ödemiş Ulusal Gözlemevi Yer Seçimi Buzdağ İstasyonu'nda astronomik gözlem yapan öğretim lisesi arkadaşımız da izlemiştir. Bu tür ışımlar konusunda yakında geniş bir yazı yazmayı düşünüyoruz. Ayrıca yukarıda, İ.Ö. Fen Fakültesi Astronomi Bölümü araştırma görevlilerinden Talat Saygı'nın, 12 Eylül 1983 günü gerçekleşen Ay-Jüpiter yakınlaşmasında bölümün 30 cm'lik astrografı ile çektiği fotoğrafı görüyorsunuz. Fotoğraf o gün saat 22.00'de 17 sn poz vererek çekilmiştir.

Dr. İ. Ethem DERMAN

ına gelir. Daha ötesi, sınırlı hacmi olan kapalı bir uzayda genişleme ve daralmanın periyodik olarak birbirini takip edeceği ispatlanabilir. Bunlara - nabız gibi - atan dünyalar denir. Diğer taraftan, sonsuz "eğer gibi" uzaylar devamlı olarak daralma ya da genişleme halinde bulunurlar.

Bütün bu farklı matematiksel ihtimallerin hangisinin içinde yaşadığımız uzaya, uyduğu sorusu, fizik tarafından değil, astronomi tarafından

cevaplandırılmalıdır. Bu konuyu burada incelemeyeceğiz. Ancak astronominin sınırlıya kadar bulduğu deliller kesin olarak bizim uzayımızın genişlemekte olduğunu göstermiştir. Bununla beraber bu genişlemenin bir yerde daralmaya dönüşüp dönüşmeyeceği ve uzayın büyüklük olarak sınırlı ya da sonsuz olduğu sorusunun cevabı henüz açıklık kazanmamıştır.

Çev.: Doç. Dr. Tuncay İNCESU