

Düş mü?..
Gerçek mi?..

Zamanda Yolculuk

H.G. Wells çok yönlü, kendine özgü fikirleri olan bir düşünürdü. Fen eğitimi almış olmasının getirdiği teknik bilgisini hayal gücüne ekleyerek yazdığı ve bundan tam yüz yıl önce 1895'de yayınladığı Zaman Makinesi adlı romanı, bir bilim kurgu klasığıdır. Daha sonra o kadar çok bilim kurgu yapıldı ki asrımıza bilim kurgu çağı desek yanlış olmaz. Yine zamanda yolculuğu konu alan ama daha güncel bilimsel verileri kullanan Steven Spielberg'in "Geleceğe Dönüş" filmlerini nefesimizi tutarak izlemekteyiz. Acaba 1985'de yaşayan Marty McFly, Doktor Emmett Brown ile beraber geçmişe gidip 1955'de annesiyle babasını birleştirebilecek mi? Böylece ailesinin ve dolayısıyla kendisinin kaderini yeniden çizip 2015 yılında geleceğe dönebilecek mi?

Tekin Dereli
ODTÜ Matematik Bölümü

ZAMANDA YOLCULUK konusunun sadece hoş bir düşünmekten çıkıp bilimsel zeminde tartışılır hale gelmesini sağlayan, ünlü fizikçi Albert Einstein'ın keşfettiği relativite teorisi olmuştur. Bu konunun şu son yıllarda bilim adamları arasında ve kamuoyunda yeniden hararetle tartışılmasını, Amerikalı relativiteci Kip Thorne'un 1988'deki bir çalışmasına bağlamak mümkün. Kip Thorne'un geçen sene bir kitabı çıktı. Kitabının son bölümünü bu konuya ayırarak bir anlamda günah çıkartmış; anlattığına göre, herşey Carl Sagan'ın yazmakta olduğu bilim kurgu romanı için Kip Thorne'a danışmasıyla başlıyor. Sagan, Thorne'a roman kahramanını geçmişe yollamak için önerdiği senaryonun fizik yasalarıyla çelişip çelişmediğini soruyor. Kip Thorne bu soruyu yanıtlarken, ilgisini çeken bir teorik konuyla karşı karşıya olduğunu görüyor ve CalTech'deki doktora öğrencileri Michael Morris ve Ulvi Yurtsever ile beraber bir zaman makinesi tasarlamaya girişiyorlar. Bu, tamamen düşünce deneyi dediğimiz türden, temel fizik yasalarının daha derinden anlaşılmasına yönelik bir araştırma olsa da epey bir tartışmaya neden oluyor. 1991'de, bu kez Princeton Üniversitesi'nden Richard Gott, farklı nitelikler taşıyan başka bir zaman makinesi öneriyor. Bunun üzerine, Steven Hawking araya girme gereğini duyuyor ve bir tahminde bulunarak, fizik yasalarının bu tür zaman makinelerinin neden-sonuç ilişkileriyle belirlenen gerçek zaman sıralamasını bozmasına izin veremeyeceğini iddia ediyor. Böylece



hız kazanan akademik tartışmalar, bilim muhabirleri tarafından Amerika'nın büyük dergi ve gazetelerine aktarılmış, kamuoyunda bilim adamlarının zamanda yolculuk etmenin sırrını keşfettiler yolunda bir izlenim uyandırıyor. Benim bu yazıdaki amacım, "Zamanda yolculuk denince fizikçiler ne anlıyor? Kip Thorne ve Richard Gott'un zaman makinesi dedikleri nedir?" gibi sorulara biraz açıklık getirebilmek.

Zaman Nedir?

Her şeyden önce zaman kavramı üzerinde biraz durmak gerekiyor, çünkü bu kavram fizikteki en zor kavramlardan birisidir. Aklın başında her insanın zihninde, çok net olmayan bir zaman kavramı vardır: Kâh hızlı, kâh yavaş akıp giden, geçen anı bir daha geri dönmeyen, içimizde duyduğumuz ama tutamadığımız bir şeydir bu zaman. Zamanı tanımlamak için bu insan algılarını esas almaktan başka yapabileceğimiz bir şey yoktur. İnsan algıları, "zaman akışı düzenli midir? Dü-

zensiz midir? Hızlı mıdır? Yavaş mıdır?" gibi sorulara somut yanıtlar veremez. Dolayısıyla zaman kavramının nesnel olarak tarifi zor ve felsefi sorunlarla doludur. Zamanın, nesnel olarak emin olabildiğimiz tek niteliği, içinde bulunduğumuz ana (hal) göre belli bir yöne ilerlemekte olduğudur. İçinde bulunduğumuz şu anı geçmişimiz, şu anda yaptıklarımız da geleceğimizi belirler. Zamanda geri dönüp geçmişimizi değiştiremeyiz. Zaman, içinde bulunduğumuz ana göre geçmişten geleceğe doğru akar. Burada şuna dikkat edelim: Zamanın bu tek yönlülüğü, yani asimetrisi, tamamen uzayda maddenin varlığına bağlıdır. Boşlukta zaman akışının asimetrisi olamazdı. Uzun erimli temel etkileşme kuvvetleri gravitasyon ve elektromanyetizma, zamanın akış yönüne duyarlı olduklarından, zamanın tek bir yöne akması, bu kuvvetlerin varlığıyla açıklanamaz. Zamanın akış yönünü saptamak için birkaç değişik makroskopik fizik kuralı önerilebilir.

Birincisi, termodinamik kuralıdır. Termodinamiğin 2. yasası tersinemez olaylarda toplam entropinin mutlaka artı işaretli yükselen bir fonksiyon olduğunu söyler. Entropi tanımını, kabaca, bir sistemin düzensizliğinin ölçüsü olarak verebiliriz. Elimizdeki cam bardak yere düşünce kırılır, parçaları çevreye saçılır. Entropi artmıştır. Olayı filme alıp tersten göstersek, cam kırıklarının derlenip bir bardak oluşturduklarını ve bardağın yerden sıçrayıp elimize geldiğini görürüz. Entropi azalmıştır. Bu da, Newton yasalarına göre olası bir harekettir, fakat doğada gözlenmez. Zamanın akış yönünü entropinin artış yönüyle özdeşleştiririz.

İkinci bir kural, Büyük Patlama ile yaratılan ve genişleyen evren modellerinden gelir. Kozmik zaman değişkenin başlangıcını evrenin yaratılış anıyla çakıştırırsak, kozmik zamanın akış yönünü, evrenin genişleme yönüyle özdeşleştirebiliriz.

Görülüyor ki makroskopik fizik yasaları, zamanın geçmişten geleceğe tek bir akış yönünün bulunmasıyla tutarlıdır. Buradan şu sonuca ulaşıyoruz: Uzay gemisi gibi büyük bir cismin ya da bir insanın şu andan geçmişteki bir ana gitmesi, yani zamanda yolculuk etmesi söz konusu ise; bunu, zamanın akış yönünü değiştirmeden gerçekleştirme zorunluluğu vardır. Aksini iddia edersek, yani zamanın tersine akabileceğini söylersek, termodinamiğin temel yasaları ve evrenin gözlenen nitelikleriyle çelişkiye düşeriz.

Zaman konusunu burada bırakmayacağız. Çünkü zaman aralıklarını ölçerek karşılaştırabilmeyiz. Bunun için bir nicelleştirme yapmak gerekiyor. Zaman kavramı, mad-

di dünyada uzayın aynı noktasında ya da iki değişik noktasında cereyan eden iki olay arasındaki zaman aralığı saatlerle ölçülerek nicelleştirilir. Bu saatler mekanik, atomik, ışık-sal veya herhangi bir diğer yapıda olabilirler. Dikkat edilecek nokta, bu saatlerle yapılanın, doğada herhangi bir şekilde kendini düzgün olarak tekrarlayan bir hareket bulup, periyodik dediğimiz bu hareketin salınımlarını saymaktan ibaret olduğudur. Zaman ölçümünün hassaslığı, söz konusu periyodik hareketin düzgün olmasına ve periyodunun, ölçülen zaman aralığına göre yeteri kadar küçük olmasına bağlıdır. Dünya'nın Güneş etrafında bir devir tamamlaması (bir yıl), insan hayatında çok hassas bir zaman ölçüm birimi vermez. Gece-gündüz değişimleri (bir gün) daha iyi bir zaman birimidir, ama yine de yeterince hassas değildir. Bizler için zaman ölçümlerindeki hassaslık, saati oluşturan salınımların periyodunun kısıtlılığıyla düz orantılıdır. Ancak zaman birimini ne kadar küçültürsek küçültelim yine de saatlerle ölçülen zaman aralıkları sonuçta tam sayılar veya kesirli sayılarla verileceklerdir. Zamanda bir anı reel sayı ekseninde bir noktaya gösterilebilir, bizleri doğal olarak zamanın tek boyutlu bir sürekliliği olduğu varsayımına ulaştırmaktadır.

Zamanın Göreliliği

İçinde bulunduğumuz şu anı saate bakıp okursam, saatlerimiz özdeş yapıda iseler ve daha önce bir araya gelip birlikte saatlerimizi ayarlamışsak, bu işlem sonucunda o anın, sizin için de tam olarak belirlenmiş olacağından kuşku duymayabilirsiniz. Doğadaki tüm olası gözlemcilerin, zamanda bir anı hep beraber aynen belirleyebilmesine zamanın mutlak olması deriz. Aristo'nun Ortaçağ'a egemen olan fizik anlayışında hem zaman, hem üç boyutlu bir sürekli ortam olarak uzay mutlak anlam taşıyorlardı. 16. yüzyılda Kopernik'in gezegen sistemimizin Güneş merkezli modelini öne sürmesinden ve Kepler tarafından bu modelin doğruluğunun kanıtlanmasından sonra Yeniçağ'dan itibaren uzayın mutlak olmadığı anlaşılmaya başlandı. Yeryüzünden göğe bakan bir gözlemcinin konum ölçümleriyle, bu gözlemcinin evrenin başka herhangi bir noktasına gidip buradan bakarak yapabileceği konum ölçümleri farklıdır. Ancak bu iki gözlem çerçevesi birbirlerine göre sabit hızla hareket etmekteyseler, eylemsiz adı verilen bu gözlem çerçevelerinden birini diğerine tercih etmek için fiziksel neden bulunamaz. Eylemsiz bir gözlem çerçevesinden yapılan gözlem sonuçları cinsin-



den diğer eylemsiz gözlem çerçevesinden yapılan gözlem sonuçları yazılabilir. Yirminci yüzyıla kadar, uzayın görelî, ancak zamanın mutlak olduğu kabul ediliyordu. Albert Einstein, 1905 yılında öne sürdüğü özel görelilik teorisıyla zamanın da görelî olduğunu göstermiştir. Yani, bir gözlemcinin saatine bakarak ölçtüğü zaman aralıkları, seçmiş olduğu eylemsiz gözlem çerçevelerine göre farklı farklı çıkabilir. Einstein'ın özel görelilik teorisinin çarpıcı kanıtlarından biri olan şu örneğe bakalım. Muon adı verilen temel parçacıklar, 1947'de yeryüzüne gelen kozmik ışınlarda keşfedildiler. Laboratuvarda benimle beraber duran bir muonun ölçülen yarı yaşam süresi 2.2×10^{-6} saniyedir. Atmosferin üst katmanlarından yeryüzüne doğru yol alan muonların çok hızlı, diyelim ki ışık hızına yakın hızlarda hareket ettiğini kabul edecek olursak, muonların daha yeryüzüne ulaşmadan bozunmalarını beklerdik. Halbuki kozmik muonlar yeryüzüne ulaşıyorlar. Bu olay, yeryüzündeki laboratuvar gözlem çerçevesine göre, kozmik muonların çok hızlı hareket halinde olmalarıyla ve bu nedenle yaşam sürelerinin, durgun yaşam süresinden daha uzun olmasıyla açıklama buluyor.

Einstein'ı özel relativite teorisinin keşfine götüren, Maxwell'in elektromanyetizma denklemleri ile Newton mekaniği arasında var olan temel bir çelişki olmuştur. Bu çelişki, Newton'daki mutlak zaman kavramında düğümlenmektedir. Uzayın bir noktasına kütle koyalım. Bunun yarattığı gravitasyon alanı uzayın diğer bütün noktalarında etkisini duyurur. Büyük kütle, kendinden uzağa konmuş bir test külesini bu alan aracılığıyla çeker. Büyük kütleli tutup titreştirsek, Newton'a göre test külesinin de aynı anda bundan haberi olacaktır. Yani uzayda bir noktadan başka bir noktaya bilgi iletimi anidir; sonlu bir süre geçmesi gerekmez. Bu varsayım, Newton teorisinde bilgi iletiminin

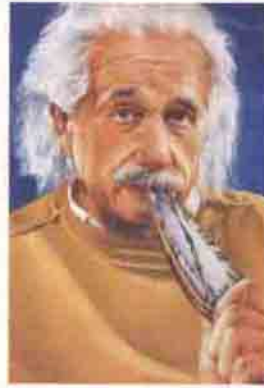
sonsuz hızla yapıldığı önermesine denktir. Halbuki elektromanyetik teoriye gelirse, burada elektromanyetik dalgaların yayılma hızının $c=300.000$ km/saniye'lik ışık hızına eşit olduğunu görüyoruz. Elektromanyetik dalgalarla bilgi iletim hızı büyüktür; fakat sonludur. 19. yüzyıl sonunda bilim adamları iki teori arasındaki bu çelişkiyi gidermek için 200 yıldır kullanıp geliştirdikleri Newton teorisini değil, 20-30 yıllık bir mazisi olan Maxwell teorisini değiştirmeye uğraşıyorlardı. Einstein genç olmasının verdiği zihinsel esneklikle, aslında ışık hızına yakın hızlarda hareket eden cisimlerin mekaniğini incelemek için Newton teorisinin yeterli olmadığını ilk kavrayan bilim adamı olmuştur. Zamanı görelî alarak Newton yasalarını bu varsayıma uyumlu genelleştirmiş ve böylece çelişkinin giderildiğini göstermiştir. Burada daha fazla ayrıntıya girmeden sadece Einstein'ın bazı temel varsayımlarını tekrarlayalım:

- i) Zaman ve uzay görelîdir. Yani zaman ve uzay koordinatlarının tanımları, bir eylemsiz gözlem çerçevesinin seçimine bağlıdır.
- ii) Işık hızını hangi eylemsiz gözleme ölçerse ölçsün, $c=300.000$ km/saniye değerini bulacaktır.
- iii) Uzayda bir noktadan diğer bir noktaya bilgi iletiminde üst sınır ışık hızıdır. Başka bir deyişle, doğada ışıktan hızlı hareket eden hiçbir cisim ya da temel parçacık yoktur.

Relativite teorisinde hareket halinde ölçülen mesafelerin kısalması, zaman aralıklarının uzaması, eylemsizlik kütlelerinin hızla bağlılığı gibi öngörüler, ilk duyulduğunda alışkanlıklarımıza ters düşükleri için şaşırtıcı gelebilirler. Ancak eşanlık, ölçme süreci, görme süreci gibi temel tanımlar dikkatle yapılarak bu etkiler incelendiğinde, ortada şaşıracak birşey olmadığı anlaşılacaktır. Eğer bir cismin kütlesi, cisim eylemsiz laboratuvar gözlem çerçevesinde hareketsiz iken ölçülüyorsa, bu cismin durgun külesine m_0 diyelim. Eğer cisim laboratuvara göre bir $v < c$ hızıyla hareket halindedeyse, bu durumda ölçülen kütle $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ olacaktır. Eylemsizlik külesindeki bu artışın anlamı şudur: Cismi daha da hızlandırmak için kuvvet uygularsam, cisim hızlandıkça cismi daha da hızlandırmak için uyguladığım kuvveti giderek büyütmem gerekir. Cismi ışık hızına çıkartmak, ancak sonsuz büyük kuvvet uygulamakla mümkündür. Sonsuz büyük kuvvet imkansız olduğuna göre, durgun külesi sıfır

dan büyük olan hiçbir cisim ışık hızından daha hızlı gidemez. Yazının bundan sonraki kısmında kütle kelimesi geçtiğinde, aksine bir uyarı olmadığı sürece, durgun kütle anlamında kullanılmaktadır. Sadece kütleli sifira eşit olan temel parçacıklar, yani ışık kuantumu=foton ile nötronun beta bozunumundan çıkan ve nötrino adı verilen parçacıklar ışık hızıyla hareket ederler. (Neden bir fotonu ya da nötrinoyu hareketsiz görececek eylemsiz gözlemci yoktur?)

1968'de Amerika'da Bilaniouk ve Sudarshan adlarında iki bilim adamı ilginç bir iddiayla ortaya çıktılar. Relativite teorisinin, ışıktan hızlı hareket edecek cisimleri dışlamadığını kanıtlamaktaydılar. Bilaniouk ve Sudarshan, ittikçe hızlanacağına yavaşlayan, tutunca duracağına sonsuz hızla doğru hızlanan bu tür garip cisimlerin bulunması halinde, bunları takyonlar adı altında sınıflandırmayı önerdiler. Doğadaki cisimlerden, ışıktan yavaş gidenlere tardiyonlar, ışık hızında gidenlere de lüksonlar demeyi uygun gördüler. Doğada takyonlar gözlene bile bu relativite teorisindeki bir değişiklik yapılmasını gerektirmeyecek. Ancak, şimdiye dek değil bir takyon gözlemek; bu tür parçacıkların doğada serbest dolaşabileceğine işaret eden gözlemsel bir ipucu bile bulunamadı.



Kütle Eksi Olabilir mi?

Burada, kütle kavramını biraz daha ayrıntılı ele almak gerekiyor. Kütle ölçülerek her cisme bir reel sayı karşılık getirilir. Bu sayı, cismin hangi niteliklerini belirlemiş olmaktadır? Kavram olarak iki farklı kütle tanımlanabilir. Önce hareket eden bir cismin sağladığı, Newton hareket denklemlerinde görülen eylemsizlik külesi var. Bu tanım, cismin etken (aktif) nitelikleriyle ilişkilidir.



Eylemsizlik kütlesi, bir dış kuvvete cismin nasıl yanıt verdiğini gösterir. Gravitasyon kütlesi ise cismin edilgen (pasif) nitelikleriyle ilişkilidir, cismin bir dış gravitasyon kuvvet alanından etkilenme şiddetini belirleyen bağlanma sabiti niteliğindedir. Gözlemler, kütlenin şu özelliklerini göstermektedir:

i) Doğadaki cisimlerin eylemsizlik kütleleri artı işaretlidir. Bu kural, "bir cismi itince hızlanır, tutunca yavaşlar" demenin başka bir ifadesidir.

ii) Doğadaki her cismin eylemsizlik kütlesinin değeri, gravitasyon kütlesinin değerine eşittir.

Maddenin etken nitelikleriyle edilgen niteliklerinin tam dengelemesini gerektirecek temel bir zorunluluk yoktur. Ancak, bu eşitlik ilk kez Macar fizikçisi Eötvös'ün 1912'de yaptığı Cavendish deneyine benzer son derece hassas deneylerle gözlemsel kanıtını bulmuştur. Einstein, eşdeğerlik ilkesi adını verdiği bu kuralı, genel relativite teorisini inşa etmek için bir başlangıç noktası olarak kullanmıştır.

Doğadaki tüm cisimlerin eylemsizlik kütleleri artı işaretli, fakat kiminin gravitasyon kütlesi artı, kimininki eksi işaretli olsaydı, Newton hareket denklemleri yine de geçerli olurdu. Ancak, Newton'un evrensel ters kare kuvvet yasasında, gravitasyon kütlelerinin aynı işareti taşımaları halinde çekici, ters işaret taşıyanları halinde itici gravitasyon kuvveti gözlerdik. Öyleyse eksi işaretli gravitasyon kütlesinin anlamı, itici gravitasyon kuvvetinin varlığı demek olacaktır. Newton'un evrensel ters kare kuvvet yasası evrendeki tüm cisimlerin gravitasyonla birbirlerini çektiklerini; iki cisim arasındaki çekim kuvvetinin büyüklüğünün cisimlerin gravitasyon kütleleri ile düz, aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olduğunu söyler. Gravitasyon kuvveti mutlaka çekicidir demek evrende bildiğimiz bütün cisimlerin gravitasyon kütleleri artı işaretlidir demeye eşdeğerdir.

Uzay-Zaman Eğrileri Kapanabilir mi?

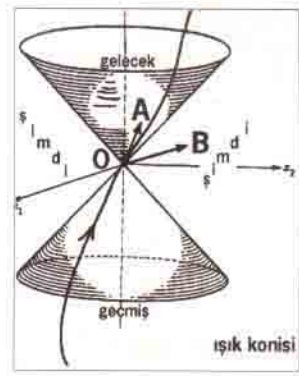
Özel relativite teorisinde uzay da zaman da görelidir demiştik. Bu teoride mutlak olan, dört boyutlu uzay-zamandır. Bir fiziksel olayı belirlemek için olayın cereyan ettiği konumu, örneğin (x,y,z) ile göstereceğim üç uzay koordinatıyla verirken, olayın cereyan ettiği anı da bir t zaman koordinatıyla vermem gerekir. Böylece seçtiğim gözlem çerçevesinde uzay-zaman noktalarının koordinatları, (ct,x,y,z) olarak verilir. Bu ifadeden hemen, zaman, dördüncü bir uzay koordinatıdır sonucuna varamayız. Her bir eylemsiz gözlemci için kendi gözlem çerçevesinde uzay ve zaman, birbirinden açık ve kesin olarak ayrı kavramlardır. Görelilik, bir gözlemcinin zaman değişkeninin, başka bir gözlemcinin zaman değişkeni gibi algılanabilmesindedir. Şu anda uzayda bulunduğum noktada bir eylemsiz gözlem çerçevesi seçmek, bana o noktada bir ışık konisi belirler.

Düz kağıt üzerine çizilen bu uzay-zaman şemasında dört koordinatı da gösteremeyeceğim için sadece t ve x koordinatlarına yer verilmiştir. Eğer zaman, düşey eksen boyunca yukarı doğru artacak biçimde alırsanız, koninin altta kalan kısmını geçmiş ışık konisi, üstte kalan kısmını gelecek ışık konisi diye adlandıracağım. Koni içindeki herhangi bir noktayı koordinat merkezine birleştiren doğru parçası, uzay-zaman şemasında bir zamansal vektör tanımlar. Benzer biçimde, koninin dışındaki bir noktayı koordinat merkezine birleştiren doğru parçası, uzay-zaman şemasında bir uzaysal vektör tanımlar. Eğer bir uzay-zaman eğrisinin üzerindeki her noktada hız vektörü zamansal çıkıyorsa, bu eğriye zamansal eğri adını vereceğiz. Bir cisim uzayda duruyorsa, bu cismin uzay-zamanda yörünge eğrisi merkezden geçen bir düşey doğrudur. Bu basit bir zamansal eğridir. Eğer cisim sabit bir $v < c$ hızıyla hareket ediyorsa, uzay-zaman yörünge doğrusu düşey eksenle bir açı yapar. Eğer cismin hızı sabit değilse, o zaman uzay-zaman yörüngesi tümüyle koni içinde kalan ve merkezden geçen bir eğriyle gösterilecektir.

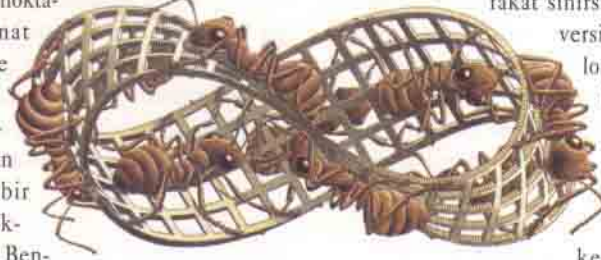
Uzay-zaman yörünge eğrisinin ışık konisi dışına taşması, cismin o noktalarda ışık hızını aştığı anlamına geleceği için kabul edilemez.

Artık şu soruyu

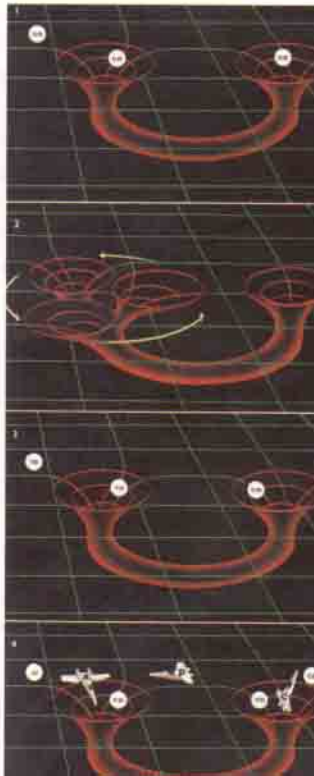
sorabiliriz: Bir uzay-zaman yörünge eğrisi kendi üstüne kapanabilir mi? Şekildeki yörünge eğrisine bakınca bu soru, "acaba eğri, zaman eksenini boyunca artı sonsuzdan çıkıp eksi sonsuzdan geri gelebilir mi?" sorusuna dönüşüyor. Maddenin olmadığı boş uzay-zamanda bu olanaksızdır. Ancak gerçek uzayda bir madde dağılımı var ve bizler genleşen kapalı bir evrende yaşadığımızı tahmin ediyoruz. Böyle bir evren modelinde üç boyutlu uzay, tıpkı bir küre yüzeyine benzer. Sonlu



fakat sınırsızdır. Bir fikir versin diye bir balon üstüne (yani iki boyutlu yüzeye) bırakılmış bir karınca düşünelim. Karınca kendi uzayında sonsuza dek yürüyüp gezebilir. Bu yolculuğu sınır tanımaz. Hep ileri doğru yürüyerek başladığı noktadan tekrar geçmesi olasıdır. Böyle bir yolculuğa karşılık gelen yörünge, balonun yüzeyinde kapalı bir eğriyle verilir. Bu benzetmeyi esas alırsak, "zamanda yolculuk yapılabilir mi?" sorusunun yanıtı, dört boyutlu uzay-zamanda kapalı zamansal eğriler bulunup bulunamayacağına gelmiş oluyor. Bir evren modelinde, eğer uzay-zamanda kapa-



Bir zaman tüneli oluşturma: (1) Önce, iki ucu arasındaki uzaklığı bir uzay gemisinin bir saatte katedebileceği bir solucan deliği oluşturun. (2) Öğle saatinden itibaren bir saat boyunca solucan deliğinin uçlarından birini ışık hızına yakın bir hızla hareket ettirin. (3) Şimdi hareket ettirilen ucu dışındaki bir saat 01.00'ü gösterirken solucan deliğinin içindeki bir saat ve diğer ucu dışındaki bir saat hemen hemen 12.00'ü göstermektedir. (4) Hareket ettirilen uca (A) bir uzay gemisi girerse, gemi bir anda tünel boyunca (B) hızlanır ve ağleden hemen sonra diğer uçtan (C) dışarı çıkar. Tünelin dışındaki yoldan (D) diğer uca döndüğünde, kendisinin tünele girdiği anı görecekler.

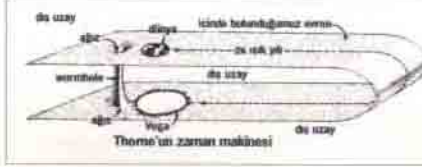
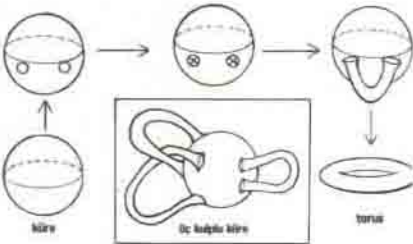


nan zamansal eğriler bulunuyorsa, bunlardan birini yörünge eğrisi olarak kabul edecek cisim, hep zamanın akış yönü doğrultusunda giderek tekrar ilk konumuna yolculuğa başladığından daha önceki bir anda ulaşabilir. İşte Zaman Makinesi, bu tür evren modellerine verilen isimdir.

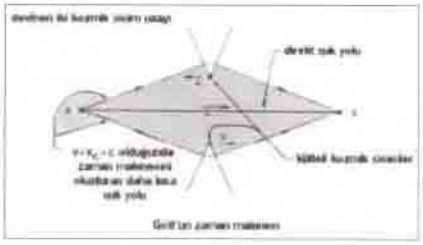
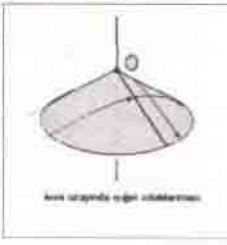
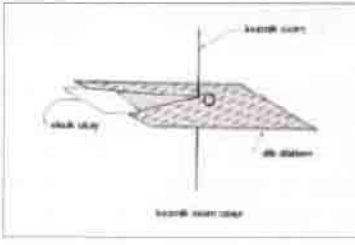
Zaman Makineleri

Yukarıda tanımlandığı anlamda ilk zaman makinesi 1949 yılında ünlü matematikçi Kurt Gödel tarafından bulundu. Gödel'in Einstein'ın alan denklemlerine bulmuş olduğu kozmolojik çözüme, o sırada her ikisi de Princeton'daki İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde çalışan ne Gödel, ne de Einstein bir yorum getirmediler. Uzayın sonsuzluklarındaki madde dağılımının, kozmik bir eksen etrafından sabit açısal hızla dönmekte olduğu bu evren modelini ilginç, ama gerçekçi olmayan uzak bularak bir kenara koydular.

Kip Thorne'un 1988'de öne sürdüğü zaman makinesi, Gödel'ininkinden farklı bir uzay-zaman topolojisine sahip. Bir an için yeniden karnacamızın iki boyutlu, sonlu; fakat sınırsız uzayına geri dönelim. Bu uzayı bir küre yüzeyi değil, şekildeki gibi kulp takılmış bir küre yüzeyi olarak da alabiliriz. Bu yeni yüzey bir torus yüzeyine topolojik olarak eşdeğerdir. Yani yüzeyimizi yırtmadan, koparmadan; sadece yüzey deformasyonlarıyla torus yüzeyi haline getirebiliriz. Peki küre yüzeyinden torus yüzeyine geçmek için hangi topolojik işlem gerekti? Şöyle açıklayalım: Önce küre yüzeyinde A ve B gibi iki nokta seçip bu noktalardan küre yüzeyini delelim. Sonra bu delikleri bir tüple birleştirip kapayalım. Küreye kulp takılmış oldu. Artık karnaca A noktasından B noktasına ulaşmak için ya kulp takılmadan önceki uzun yolu izler, ya da kestirmeden kulp üzerinden gidiverir. Şimdi dört boyuta geri dönelim ve kendimize soralım: Aynı topolojik işlemi fiziksel uzay-zamanda yapsak ne olur? Uzay-zamandan bir nokta delip çıkarmak bir karadeliği yaratmak demektir. Birbirine kom-



şu iki nokta delip çıkarmak birbirine yakın iki karadeliği bulmak demektir. İki deliği birbirine tüple bağlayıp kapatmak, iki karadeliğin arasında bir tüp geçitle bağlantı sağlamak demektir (buna solucan deliği=wormhole diyenler de var). Bu topolojik işlemden önce ışığın bir noktadan diğerine gitmek için izlediği uzay-zaman yörüngesini düşünelim. Işığın bu yolu katetmesi belli bir zaman alır. Halbuki uzay-zamana bir kulp takıldığında kulpun üzerinden gidecek cisim diğer noktaya daha önce varabilirse sanki zamanda geriye gitmiş gibi olur. Bu zaman makinesinin



inşasında sorunlar yok değil. Bir kere iki karadeliğin arasında bağlantı kuran tüpün, karadeliğin çevresinde varolan muazzam gravitasyon kuvvetleri nedeniyle çöküp kapanması için çökmeye karşı koyan bir iç basınç gerekir. Denge, ancak tüp içine eksi kütle yoğunluğuna sahip bir madde dağılımı konursa sağlanabiliyor. Burada pratik bir zaman makinesi için esas sorun karşımıza çıkıyor. Böyle bir dağılım kuantum kökenlidir ve bu nedenle kulp, bir uzay gemisi ya da insanın içinden geçebileceği boyutlarda düşünmek zordur.

Richard Gott'un 1991'de bulunduğu zaman makinesinde ise uzay-zaman topolojisi daha da farklı bir nitelikte. Gott, sonsuz uzun ve çok ince, birbirine paralel iki kozmik sicim eğer $v \ll c$ hızıyla birbirlerine değer gibi yaklaşmış olsaydı; iki sicimin en yakın olduğu bölgede sonlu bir zaman aralığı süresince, kapalı zamansal eğrilerin var olabileceğini gösterdi. Gott'un bu buluşunu basit bir geometrik bakış açısından anlatmak

mümkün. Bunun için önce sonsuz uzun ve çok ince bir kozmik sicim, bir topolojik işlem olarak uzaydan bir doğru üzerindeki noktaları çıkarmaya eşdeğer olduğunu söyleyelim. Sicimin sonsuz uzun alınması, eksenel simetri nedeniyle problemin boyutunu bir eksildir. Üç boyutlu uzayda, sonsuz uzun düz bir sicim için problemi çözmek, sicim doğrusuna dik olan düzlemden bir noktayı çıkarıp, kalan iki boyutlu yüzeyde problemi çözmekle aynıdır. Bu yaklaşımda sicim geometrisi bir koni yüzeyi ile gösterilir. Koni'nin tepe açısı kozmik sicimin çizgisel kütle yoğunluğuyla orantılıdır. Birbirine en yakın konuma gelmiş iki kozmik sicimin oluşturduğu iki boyutlu yüzey geometrisi şekilde görülmüyor. Eğer kozmik sicimler olmasaydı, ışık, A ve B noktaları arasında en kısa yol olan (AB) doğru parçasını izlerdi. Halbuki kozmik sicimler yörüngeleri odaklayarak dıştan dolanan daha kestirme yollar oluşturuyorlar. Bu yollardan herhangi birini izleyecek olan cisim A noktasından B noktasına daha

önce ulaşabilir. Böylece zamanda geriye gitmiş gibi olur. Gott'un zaman makinesiyle ilgili bir sorun da yok değil. Stanley Deser ve Roman Jackiw, her ne kadar kozmik sicimlerin her biri ışıktan yavaş hareket etse de, Gott'un düzeneğiyle zamanda geriye yolculuğun olanaklı olabilmesi için sistemin kütle merkezinin takyon gibi davranmasının şart olduğunu gösterdiler. Böylece Gott'un zaman makinesinin işlerliği, takyonların gözlenmesine kalmış oluyor.

Kaynaklar:
Thorne, K. S., Black Holes and Time Warps, Picador, 1994
Deser, S., Jackiw, R., Time Travel?, Com. Nucl. Part. Phys., 1992

