

# ... VE SONRA IŞIK OLDU

*Einstein'ın evreni çok incelikli,  
ama artık normal sağduyunun erimi dışında değil.*

Einstein'ın evren anlayışımızı değiştirdiğini bilmeyen yok gibi. Ölümünün ellinci yılına yaklaşırken bile, yüzünü çevreleyen beyaz, karmakarışık saçları popüler bir simge, ismiyse "deha" sözcüğüyle neredeyse eşanlamlı. Çağdaş kültür konusunda *Time* dergisi gibi bir hakem, onu "Yüzyılın Adamı" ilan etmiş.

Einstein bir şey yaptı ve bu her şeyi değiştirdi; bu kadarı herkesin kabul ettiği birşey. Bu denli ünlü olmasına karşın, başardıklarının birçok ayrıntısı bilinmez. Yaptığı tam olarak neydi? Hakkı olduğunu nereden biliyoruz? Bunu neden önemsemeliyiz?

Einstein'ın bazı bulguları, bilimsel olarak doğrulanma aşamasını çoktan geçmiş durumda. 1905'te (Alman fizikçi Max Planck'ın ondan beş yıl önce

önerdiği gibi), görülebilen ışığı enerji paketçikleriyle açıklama cesaretini gösterdi. Sonuç, "foton"du; ışığın dalgayla açıklandığı ve evrensel kabul gören kuramlara karşı gelen cesur parçacık! O zamandan bu yana Einstein'ın fotonunun, birçok pratik uygulamada kullanılabileceği anlaşıldı. Elektromanyetik bilgi nehirlerinin küçük damlacıklardan oluştuğu temeline dayanan televizyon ve bilgisayarlarda olduğu gibi.

Aynı yıl, Einstein kütle ve enerji arasında  $E = mc^2$  ile ifade ettiği derin ve beklenmedik bir ilişki keşfetti. Nükleer çağın başlamasına yol açan da, bu formül.

Yine 1905'te Einstein görelilik konusu üzerinde çalışmaya başladı. En azından popüler hayal gücü için kavranması olanaksız olduğu düşünülen

de, işte bu çalışması. Göreliliğin bu "kavranmazlık" namı, bir ölçüde kaçınılmaz. Einstein önceliği her zaman matematiksel doğruluğa verip, gözlemlenebilen sonuçlar konusunu daha sonraya bıraktı. Bu, o dönemin deneysellik yönündeki eğiliminin tam tersi. Einstein'ın başarısı filozof ve bilimcilerin, insanların evren kavramını etkileyen kısıtlamaları görmesine, göreliliği sezgilerle aykırı hale getiren sınırlamaları anlamasına yardımcı oldu. Onun dünya betimlemesi hem gördüklerimize, hem de gördüklerimizi nasıl yorumladığımızı düşündüğümüze, yani sezgilerimize ters düşüyor.

Ne var ki, Kopernik'in fikirleri de sağduyuya, sezgisel olarak edinilen inançlara (örneğin, Güneş'in Dünya çevresinde döndüğü) tersti. Bilimdeki



Özel görelilik kuramı, bir gözlemciye göre ışık hızına yakın bir hızla hareket eden nesnelere, hareket yönleri boyunca basılaşmış göründüğünü söyler. Buna göre bir kaldırımda yürüyen kişi, yassı bir bisikletçi (üstte), bisikletçi de daha ince bir dünya görür. Nesnelere aynı zamanda eğrileşirler; ama bu resimlerin çizildiği 1940 yılında bunu kimse bilmiyordu.

devrimler çoğu kez düşüncede de devrime yol açar; bunun sonunda önceki kavramlar yersiz gibi görünürken yeni kavramlar, sezgisel olarak da açık hale gelir. Dünyaya ilişkin düşünme biçimini değiştirmeyi öğrendikçe, göreliliğin getirdiği farklılıklar da, Dünya'nın Güneş çevresinde dönmesi kadar anlaşılır duruma gelir.

Özel göreliliği anlamaya başlamak için, Kopernikçi görüşün kurucularından Galileo'nun düşünsel deneylerinden birini yapmak yararlı olabilir. Bir nehir kıyısında durup, nehir boyunca sabit bir hızla ilerleyen bir gemiyi gözlediğinizi düşünelim. Eğer biri, gemi direğinin en tepesinden bir taş bırakırsa, taş nereye düşer? Direğin dibine mi? Yoksa biraz ötesine mi?

Eski Aristoteles yanlıları ve çoğu kişi için sezgisel yanıt şudur: biraz öteye. Galileo'nun yanıtıysa (doğru olarak) şudur: Direğin dibine. Bu nasıl olabilir? Nedeni, geminin hareketi ve taşın hareketinin beraberce tek bir hareket olması. Direğin tepesindeki bir gözlemciye göre, taşın hareketi gerçekten dikey bir düşüş (Aristoteles fiziğinde "doğal durumuna dönmek isteyen bir taşın yapacağı" hareket gibi) olarak görünebilir. Ancak kıyıda duran size göre taş, dikey hareketi ne olursa olsun, gemiye

aynı hızda ve doğrultuda yatay olarak hareket ediyor gibi görünecektir. Size göre, gemi ve taş tek bir sistem gibi davranacaktır. Taşın dikey hareketinden bağımsız olan bu ortak hareketin yatay bileşeni, zamanın aynı anında direğin alt ucu ve taşı bir araya getirir.

Daha sonra Einstein yeni bir varsayımı öne sürdü: Ya gemi direğinin tepesinden düşen nesne, bir taş değil de bir ışık demetiye? Ya ışık demetinin hızı, düşen bir taştan farklı olarak, sabitse? Ya hızı her koşulda (ona doğru yaklaşsanız da, ondan uzaklaşsanız da, o size yaklaşırsa da, sizden uzaklaşırsa da) hep aynı kalırsa?

İskoçyalı fizikçi James Clerk Maxwell'in kırk yıl önce geliştirdiği elektromanyetik kuramdan o yana geçerli olan, ışığın hızının sabit olduğu düşüncesini benimseyen Einstein'ın büyük hedefinin bir bölümü de, elektromanyetizmayı Galileo'nun öne sürdüğü görelilik kuramıyla bağdaştırmaktı. 1905 Mayıs'ında, yaşam boyu dostu olan Michele Besso ile problemi tartıştığı bir gece, Einstein bunu nasıl gerçekleştireceğini keşfetti.

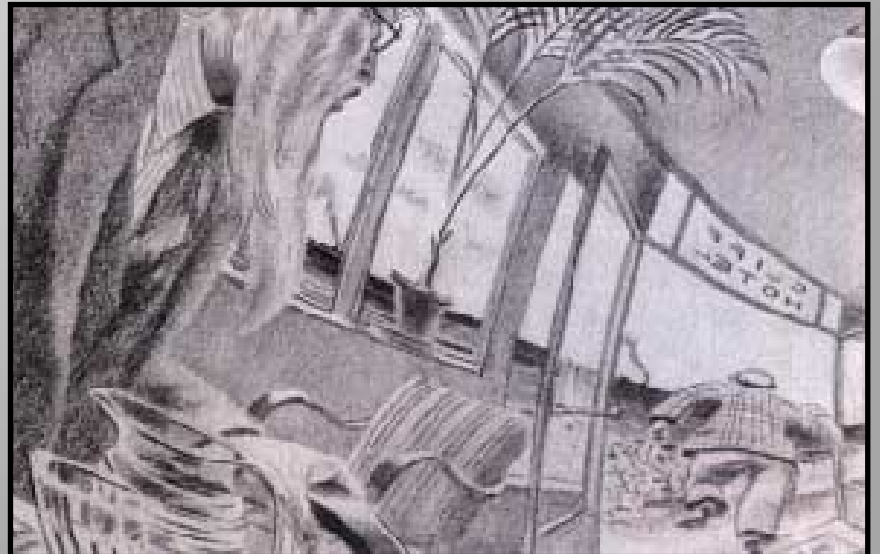
Ertesi sabah, Einstein Besso'yu "Teşekkürler. Problemi tümüyle çözdüm" diyerek selamladı. Açıkladığına göre çözüm, zaman kavramını yeniden belirlemede yatıyordu. Hız, her zaman uzaklığın zamana bölümüdür. Işık konusundaysa, Einstein'ın önermesine göre hız yalnızca saniyede 300.000 km olmakla kalmaz, her zaman saniyede 300.000 km'dir; yani sabittir. Eşitliğin bir tarafında hiç değişmeden karşımıza çıkar. Öteki tarafındaysa, değişken du-

rumuna düşmüş uzaklık ve zaman vardır; değerleri düşünebileceğiniz her şekilde değişebilir. Yeter ki birbirlerine bölümleri saniyede 300.000 km sonucunu versin. Uzaklığı değiştirirseniz, zamanı da değiştirirseniz gerekir.

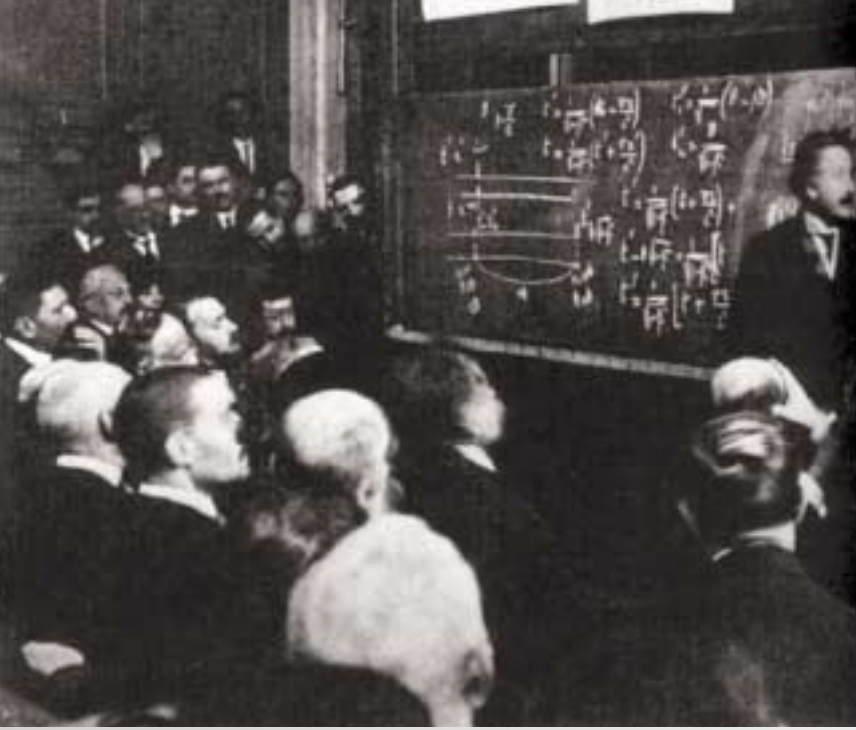
Tekrar kıyıya gidip Galileo'nun gemisine bir göz atalım. Suda hareketsiz durduğunu ve bir ışık demetinin, direğin tepesinden tabanına gittiğini varsayın. Hem siz (kıyıda) hem de gemideki bir gözlemci, ışık demetinin yolculuğunu tamamlaması için geçen zamanı ölçüyorsunuz. Yolculuğun bir saniye aldığı konusunda da hemfikirsiniz. Öyleyse, direğin boyunun 300.000 km olduğunda da hemfikirsiniz (çok yüksek bir gemi olsa gerek!).

Öte yandan, eğer gemi, kıyıda duran size göre hareket ederse, gemideki gözlemci, yine, ışığın dikey bir şekilde hareket ettiğini görür. Ancak kıyıda duran sizin için koşullar tıpkı taşın düşme örneğindeki gibidir: ışık demeti hareket ederken direğin tabanı da, direğin tepesinin, ışığın harekete geçtiği andaki konumuna göre hareket etmiştir. Bu nedenle ışığın katettiği uzaklık, geminin durağan olduğu zamanki uzaklıktan daha büyüktür. Bu, 300.000 km olamaz; daha büyük olmalıdır. Eşitliğin sol tarafındaki ışık hızı sabit olduğuna göre, uzaklıktaki değişim, geçen zamanda da bir değişim olmasını gerektirir; yani o da daha büyük olmalıdır.

Zaman ölçümleri için uygulanan matematiksel akıl yürütme biçimi, uzunluk ölçümleri için de geçerli. Hareket halinde olan bir gemideki bir çubuğun boyu, gemideki gözlemci tarafından bir



Genel görelilik, kütleçekiminin uzayı büktüğünü ve zamanı yavaşlattığını öngörür.



Einstein, bir özel görelilik dersi sırasında.

metre olarak ölçülmüşse, kıyıda duran sizin için daha kısa görünecek (çubuğun, geminin hareket doğrultusunda olduğu ve geminin ışık hızına yakın bir hızla hareket ettiği varsayılıyor). Bunun tersi de doğru. Galileo'nun öğretisinde de olduğu gibi, ne geminin kıyı boyunca gittiğini, ne de kıyının gemi yönünde hareket ettiğini söylemeyi gerektiren fiziksel bir neden var. Bu nedenle, Einstein'ın gemisindeki gözlemci için kıyıda saatler yavaş gibidir; ve kıyıda duran aynı boyutlardaki çubuksa bir metreden daha kısadır.

Göreliliğin herhangi bir açıklamasında, bu noktada kaçınılmaz bir soru ortaya çıkar: Kim haklı? Yanıtısa, "her ikisi", ya da daha doğrusu, ölçümleri kimin yaptığına bağlı olarak, "ikisinden biri" şeklinde. Tabii bu sefer başka sorular da akla geliyor: Gerçekte ne kadar zaman geçti? Çubuğun uzunluğu gerçekte neydi? Yanıt: "Gerçekte" diye bir şey yok! Einstein, mutlak zamanı "Yalnızca hayaletler tarafından algılanan, ama her yerde algılanan, her zaman tek-biçim bir tik-tak yoktur" diyerek açıklamıştı. Mutlak bir uzay da yok. Yalnızca matematik ve onun bize mümkün kıldığı ölçümler var.

Ne var ki, bu matematik Einstein için tümüyle yeterli değildi. Bir fiziksel sistemin (ör. Galileo'nun gemisinin) bir başka sisteme (kıyıda duran size) göre matematiksel bir betimlemesini verebi-

liyordu; ama, sistemlerden birinin (ya da her ikisinin) sabit hızla gitmesi koşuluyla. Hızı artan bir sistemde –örneğin kütleçekimi etkisindeki bir sistemde– ne oluyordu?

1907 Kasımına kadar, Einstein'ın bu soruyu yanıtlamaya nasıl başlayacağı konusunda en ufak bir fikri yoktu. Bir gün, çalışma sırasında, aklından çatıdan düşen bir adamın hayali geçti.

Çatıdan düşen bir adamın, en azından, yerçekimi etkisinde olduğu kesindi. Başka ne olabilirdi? Galileo'nun gemisindeki gözlemcinin, geminin kıyıda değil de kıyının gemiden uzaklaştığını düşündüğü gibi, çatıdan düşen adam da kendisinin durağan, evrenin geriye kalanının da hareket ettiğini düşünebilirdi. Einstein, bu durumda, çatı adamdan uzaklaşırken ve zemin kendisine doğru yaklaşırken, adamın, yerçekiminin hiçbir etkisini hissetmeyeceğini düşündü.

Öyleyse adam yerçekimi etkisini ne zaman hisseder? Yanıtın, serbestçe düşerken değil, çatıda dururken olduğu kesin. Vücudunun ağırlığı, ayaklarının altındaki çatının yerçekimi alanı etkisine karşı direncidir; yerçekimi onu yere doğru bastıran bir su akımı gibi etki yapmaktadır.

Durumu daha anlaşılır yapmak için Einstein, dev bir vincin ivmeli bir hareketle yukarı doğru çektiği penceresiz bir asansör içindeki bir adamın duru-

munu ele aldı. Vinç asansörü yukarı çekerken, içindeki adam kendinin tabana doğru itildiğini hissedecektir. Eğer asansörün ivmesi, Dünya yüzeyindeki yerçekimi ivmesine (saniyede yaklaşık 9,76 metre) sayısal olarak eşit olursa, asansördeki adam yerçekimini mi, yoksa vincin yol açtığı ivmeyi mi hissettiğini bilemezdi; bir başka deyişle asansörün Dünya yüzeyinde hareketsiz mi durduğunu, yoksa uzayda hızlanarak hareket mi ettiğini...

Galileo'nun döneminden beri fizikçiler, kütleçekiminin bir kütle üzerindeki etkisinin, eylemsizliğin (inertia) etkisine eşit olduğunu bildikleri halde, bunun bir rastlantı olduğunu düşünmüşlerdi. Einstein'ın düşünsel deneyi bunun rastlantı olmadığını gösterdi.

Einstein, daha sonra, asansörden bir ışık demetinin geçtiğini varsaydı (bir duvardan dik olarak girip karşı duvardan çıkan bir demet). Vinç asansörü yukarı doğru çekerken, Einstein ışığın girdiği yükseklikle çıktığı yüksekliğin farklı olacağını düşündü. Öyleyse ışık doğrusal olarak hareket ettiği halde, hızlanan bir asansörden geçerken bükülmüş görülmeliydi.

Şimdi de asansörün hareket etmediğini ve yerde durduğunu varsayalım. Bu koşul, yukarıda varsayılan koşullara denk olduğuna göre Einstein şöyle düşündü: Asansörden geçen ışık aynı etkiye maruz kalmaz mı? Yerçekimi kuvveti ışığı bükmez mi?

Gökbilimci Carl Sagan'ın ünlü bir gözlemi vardır: "Olağanüstü iddialar, olağanüstü kanıtlar gerektirir." Einstein'ın kuramlarıysa, şimdiye kadar yapılmış en olağanüstü iddialar arasında. Kuramları kanıtlamadaki sorun, yalnızca kuramsal öngörülerin sezgilere ters düşmesi değil, bunların bilinen gözlem araçlarıyla ölçülemeyecek kadar erişilmez olmalarıydı. Bu öngörülerin, var olan kuramların öngörülerinden farkı, ancak çok uç koşullarda görülebiliyordu. Einstein'ın yazdığına göre, klasik Galileo fiziğinin görelilik denklemleri, "gök cisimlerinin gerçek hareketlerini, harika denilebilecek incelikli ayrıntılarla verir" –yeter ki gözlenen cismin hareket hızı, ışık hızına fazlaca yakın olmasın. Newton fiziğinin, kütleçekimini ifade eden denklemleri de aynı şekilde, çok iyi sonuçlar verir –yeter ki gözlenen nesne, büyük bir çekim alanının etkisiyle başatmaya çalışıyor olmasın.

Göreliliği sınamanın güçlüğünü anlamak için, bütün dünyanın dikkatini Einstein'ın kuramlarına odaklayan bazı deneyleri ele alalım. İngiliz fizikçi Sir Arthur Eddington, 1919 Kasımında, o yıl 29 Mayıs'ta gerçekleşen tam Güneş tutulmasını gözlemek için yapmış olduğu iki araştırma gezisinin sonuçlarını açıkladı. Einstein'a göre, Güneş'in güçlü çekim kuvveti, yakınından geçen yıldız ışıklarını saptırmalıdır. Eğer bunun nedeni yalnızca kütleçekimi olsaydı, Newton da bunu kabul edebilirdi. Ancak Einstein'ın, uzayın bükülmesi varsayımını da dikkate alan hesaplamaları, Newton'ununkinin iki katı bir sapma gerektiriyordu. Sir Arthur'un yaptığı açıklama, kazananın Einstein olduğunun da ilanıydı. (İşin ilginç bir yanı, Eddington'un, bu araştırmayı Einstein'ın yanıldığını göstermek için yapmış olması ve sonuçları alınca da bükülmenin, onun öngördüğü kadar olduğunu Einstein'a telgrafla bildirmesidir -ç.n.) Ertesi gün çıkan *London Times* bunu "Bilimde Devrim" olarak ilan ederken, *New York Times* ise "Gökyüzündeki Bütün Işıklar Çarpıkmış; Güneş Tutulması Gözlemlerinin Sonuçları Bilim Adamlarını Şaşırttı!" diyordu.

Sir Arthur'un ileri sürdüğü kesinliğe (ve bu türden manşetlerle onları izleyen yayın seline) karşın, 1919 tutulmasında yıldız ışınlarının bükülmesini ölçmenin zorlukları, hata payının yüzde 20'den az olamayacağı demektir. Tabii bu da sonucu kesin olarak nitelenmek için yeterli değildi. Bu nedenle Einstein öngörülerinin etkilerini giderek daha büyük hassasiyetle gözlemek için yapılan tam Güneş tutulması gezileri, bilimin rutin bir parçası haline geldi; 1922 ile 1973 arasında araştırmacılar dokuz gezi örgütlediler. Teknoloji ilerledikçe hata payları küçüldü ve Einstein'ın öngörülerini de genelde doğruluğunu korudu. Sonra, 1960'ların sonu ve 1970'li yılların başında tutulma gözlemleri, yerlerini Einstein'ın öngöremeyeceği çok daha kesin sonuçlu bir teste bıraktı: kuasarlardan gelip Dünya'ya giderken Güneş'in yakınından geçen radyo dalgaları üzerinde, Gü-

neş'in etkisinin ölçülmesi. (Radyo-gök bilim, Einstein'ın yaşamının ancak son on-yılında gelişti. Evrenin derinliklerinden gelen radyo dalgalarının kaynağı olan kuasarlar, onun ölümünden ancak on yıl sonra keşfedildi.) 1977 yılına gelindiğinde gökbilimciler, Einstein'ın yüzde 1,5'lük bir hata payıyla doğru olduğu sonucuna varmışlardı.

Einstein'ın öngörülerini için yapılan başka testler de benzer bir yol izledi: önce yaklaşımlar, zamanla teknolojik ilerleme, ve sonunda yeni ve daha duyarlı testler. Evrende yeni pencereler açmak için, uzay çağı ve bilgisayar teknolojisinin işbirliğinden yararlandı; genel görelilik kuramını test etmek için ideal laboratuvarlar olarak işlev gören birçok olağanüstü olay bulguları. Einstein'ın kuramı her testten başarıyla geçmekle kalmadı, bunların sonucunda uç kozmik koşulları araştırmada rutin bir araç haline geldi. Karadelikler, kozmik mikrodalga fon ışınımı, nötron yıldızları, kütleçekim mercekleme, kütleçekim dalgaları, genel görelilik olmadan bir anlam taşımayacak olgulardan bazıları.

Ama bütün bunlar anlamlı. Kozmolojinin büyük patlama ve öteki gizemli konularının hem deneysel testlere, hem de popüler tartışmalara açık olması, bir ölçüde, genel göreliliğin sezgisel kavramlarının bir sonucu. Bu kavramlar, hayal gücünü hâlâ şaşırtsa bile, artık ona karşı gelmiyor.

Ancak özel görelilik, hayal gücüne karşı gelmeyi sürdürüyor. Einstein, mutlak zaman kavramının "bilinç altına demirlenmiş" olduğunu yazmıştı. 1930'larda kararsız elementer parçacıkların ölçülen ömürlerinin, parçacıkların ışık hızına yaklaşmasıyla arttığı ortaya çıkınca, "zaman genişlemesi" de ilk kez doğrulanmış oldu. 1971'de iki fizikçi, dört atom saatini Dünya çevresinde uçuşa göndererek, saatlerin tam da özel göreliliğin öngördüğü kadar ileri gittiğini ya da geri kaldığını saptadılar. Günümüzde, nano-saniye ölçeğindeki bu tür son derece küçük etkiler, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) uydularını yörüngelerinde tutmada önemli rol oynarlar. (Yalnızca özel göreliliğin değil, genel göreliliğin etkileri de GPS'ler için can alıcı önem taşır). Yine de zaman genişlemesinin birçok kişi için anlamsız olduğunu söylemekte sakınca yok.

Günümüzde özel göreliliğin anlamı hakkında genel bir anlayış var olmuştusa, bu da ancak "her şey görelidir" şeklinde özetlenebilir. Bu yazıda anlatılanlar, basitleştirilmiş olsalar da, bu sonucu haklı kıyorlar. Ancak, bilim tarihçisi Gerald Holton'un da dediği gibi, "fizikçiler şunun farkında ki, tüm bu büyük değişimler bütünü, bir yandan da 'bazı şeyler değişmezdir' gibi zıt bir unsur da içinde barındırıyor." Aslında herkesin *Relativitätstheorie* (Görelilik Kuramı) dediği şey, Einstein'ın öncele-ri *Invarianttheorie* (Değişmezlik Kuramı) demeyi yeğlediği şeydi -en azından ona "Görelilik Kuramı" demediği dönemde.

"Einstein Devrimi"nin canalcı noktası gerçekte ne kadar zaman geçtiği, bir çubuğun uzunluğunun gerçekte ne olduğu gibi soruları yanıtlamakta değil, evrenin gerçekte nasıl işlediğini bilmekte yatar. Zamanın genişlemesi durumunda olduğu gibi, onu anlamıyorsak bile, kullanmayı öğrendik. Ve bu, Einstein'ın evrenindeki bir yüzüyle yakın bir süre sonra, en azından bir başlangıç.

Panek, R. "And Then There Was Light" *Natural History*, Kasım 2002

Çeviri: Nermin Arık

