

Kozmolojinin Yeni Problemi: Ölçme Hatası mı, Yoksa Yeni Bir Fiziğin Habercisi mi?

Nebil Reyhani

Kozmolojide yeni bir ölçüm problemi var. Birbirinden bağımsız iki ekip iki farklı yoldan aynı şeyi ölçtü ve farklı sonuçlar buldu. Problem kozmolojinin değil, bu iki ekibin problemi diye düşünebilirsiniz. Sonuçta ya bu iki ekipten birinin bulduğu sonuç yanlış, diğeri doğru ya da her ikisi birden yanlış ve doğru sonuç belki ikisinin ortası, belki de tamamen ilgisiz. Fakat bu defa mesele bu kadar basit değil. Şu analogiyle anlatmayı deneyebilirim: Dünyanın çevresini bilimsel olarak ciddiye alabileceğimiz bir yolla ilk ölçen kişi milattan önce 3. yüzyılda yaşamış olan Cyrene'li Eratosthenes'tir. Antik adı Syene olan bugünkü Mısır'ın Asvan kentinde yaz gündönümünde öğle vakti güneş öyle tam tepede olurmuş ki bir kuyunun içine bakan dipte kendi gölgesini görür, ama kuyunun dışarıda hiç gölgesi olmazmış. Eratosthenes bu aynı şeyin neden Syene'nin biraz kuzeyinde bulunan İskenderiye'de yaşanmadığını merak etmiş. Bu sorunun yanıtını bulduğunda buradan hareketle dünyanın çevresini hesaplayabileceğini farketmiş. Önce Syene'de bu olayın yaşandığı gün İskenderiye'de güneş ışığının öğle vakti yere tam dik olan bir kazığa göre 7.2 derecelik bir eğimi olduğunu ölçmüş. Eratosthenes doğru bir tahminle güneşin uzaklığının dünyanın çapıyla karşılaştırıldığında sonsuz denecek kadar büyük olduğunu düşündüğünden Syene ve İskenderiye'ye düşen ışınların birbirine paralel olacağını varsaymış. Birbirine paralel iki doğruyu kesen üçüncü bir doğrunun (kazık!) oluşturacağı ters açılar birbirine eşit olacağından bu iki şehir arasındaki mesafenin dünyanın çevresinin 7.2 derecelik bir yayı kadar olacağını bulmuş. Artık bütün yapması gereken bu iki şehir arasındaki mesafeyi fiziksel olarak ölçmektir. 7.2 derece bir çemberin ellide biri olduğundan Dünyanın çevresi bu ölçümün sonucunun 50 katı olacaktır.

Bulduğu sonuç bugün bildiğimiz değerle tam olarak aynı olmasa bile oldukça yakındır. Aradaki farkı ölçümlerdeki, özellikle de bu iki şehir arasındaki mesafenin ölçülmesindeki hata payıyla açıklayabiliriz. Bu Eratosthenes'in hesaplamalarında dayandığı kabullerin doğru olduğu anlamına geliyor. Örneğin dünya yuvarlaktır ve çekül doğrultusundaki bütün doğrular bu yuvarlağın merkezinde kesişir; Syene ile İskenderiye üzerinde parlayan güneş çok çok uzaklardaki aynı güneştir gibi. Peki ya bu ölçümde dayandığı kabullerde hiç bir problem olmamasına ve ölçümün dakikliğinden kuşku duymamızı gerektirecek hiçbir sebep bulunmamasına rağmen Eratosthenes'in bulduğu sonuç günümüzde ölçülen değerden kabul edilemez ölçüde farklı olsaydı? Tekrar edeyim: Eratosthenes'in akıl yürütmesinde hiçbir hata bulamadığımız gibi varsayalım ki ölçüm aletlerinin dakikliğinde de herhangi bir kusur gösteremiyoruz. Acaba bu ölçümden günümüze kadar geçen iki bin küsur yıllık süre içinde dünyamızın sıcak suyla yıkanmış yün kazak gibi çektiğini düşünmek makul bir seçenek gibi görünür müydü? Bu, ilk bakışta, kabul edilemez derecede 'uçuk' bir fikir gibi görünüyor. Ne var ki ölçümlerde hata olasılığını kesin olarak dışlayabiliyorsak bu seçenek bile bilimsel bir çıkış noktası olarak kabul edilebilir. Bilim tarihinde böyle 'uçuk' fikirlerin büyük düğümü çözdüğü örnekler çoktur. Ondokuzuncu yüzyılın sonlarında Michelson-

Morley deneyleri uzayı *eter* adı verilen bir maddenin kapladığı hipotezine aykırı sonuçlar verdiğinde George FitzGerald ile Hendrik Lorentz bu hipotezi kurtarmak için birbirlerinden bağımsız olarak çok 'çılgın' bir fikir ortaya attılar. Bugün 'Lorentz contraction' ya da 'Lorentz-FitzGerald contraction' olarak bilinen bu fikre göre cisimler hızlarına bağlı olarak büzüşüyor omalıydılar. Sonuç olarak gerçi eter hipotezini kurtarmaları mümkün olmadı, ama bu fikirleriyle Einstein'ın özel görelilik teorisinin temellerini atmış oldular. Özellikle Lorentz'in çalışmaları Einstein'ın teorisi için o kadar temel öneme sahiptir ki özel görelilik teorisine başlarda bu nedenle Lorentz-Einstein teorisi deniyordu. O halde, eğer gerçekten başka seçenek kalmamışsa yerküremizin bir kazak gibi çektiğini düşünmek bilim tarihinde örneği hiç duyulmamış bir şey değil. Fakat burada yalnızca kozmolojiyi değil bütün bilimleri, dolayısıyla en temelde bilim felsefesini ilgilendiren problem şu: Eğer ilk başta kabul edilemez gibi gelen bir fikre sarılmamızı haklı kılan tek şey –en azından bu örnekte– ölçümlerde hata yapmadığımızdan emin olmamızsa, hata yapmadığımızdan tam olarak ne zaman *kesin olarak* emin olabiliriz? Ya da, kesin olarak emin olmak hiç *mümkün mü*?

Eratosthenes'in hikayesi, hatırlatayım, sadece bir analogiydi. Bugün kozmolojinin önündeki problem ne yerkürenin ne de evrende başka bir objenin boyutuyla ya da bu objeler arasındaki mesafeyle ilgili değil. Kaldı ki, evrendeki mesafelerin aynı kalmadığını, evren sürekli genişlediği için bu mesafelerin de sürekli arttığını Erwin Hubble'dan beri biliyoruz. Henüz kesin olarak bilmediğimiz, bu nedenle bizi burada asıl ilgilendiren şey bu artışın hızı. Önümüzdeki problem *Hubble sabiti* adı verilen bu değere ilişkin. Biri evrenin 'bebeklik' dönemine ait 'fosil' kayıtlardan, diğeri ise lokal grubumuza ait gözlemlerden hareket eden iki grup birbiriyle uyuşmayan iki farklı sonuç buldu. Her iki grup da hata yapmadığından emin. O halde çözüm ne?

Erwin Hubble Samanyolu dışında başka galaksileri kendi gözleriyle gören ilk kişidir. Daha tam olarak söylemek gerekirse: Mount Wilson Gözlemevindeki gelişmiş cihazlar sayesinde daha önceleri gaz ve toz bulutu olduğu düşünülüyordu *nebula* olarak sınıflandırılan objelerin aslında kendi galaksimizin dışında başka galaksiler olduğunu keşfetti. Evrende Samanyolu dışında sayısız başka galaksinin olması gerektiği varsayımı görece eskidir. Kant'ın 1755 tarihli *Evrensel Doğa Tarihi Ve Gökler Kuramı* adlı eserinde, örneğin, Samanyolunun evrendeki sayısız benzerlerinden sadece biri olduğunun açıkça varsayıldığını görürüz. Buna benzer varsayımlar kuşkusuz çok değerli tahminler olsa da kozmoloji ilk defa Hubble ile birlikte gözlemsel olarak, yani salt spekülatif değil, empirik olarak, galaksimiz dışına uzandı. Yine de, Hubble'in asıl büyük başarısı tek başına bu değil. Hubble keşfettiği bu galaksilerden hangisine bakarsa baksın, istisnasız herbirinden gelen ışıpta kırmızımtrak bir kayma olduğunu buldu. *Redshift* olarak bilinen bu fenomen bir *Doppler* efektidir. Bir ova boyunca dümdüz uzanan ıssız bir yolda biricik ses kaynağı olan bir aracın ufuktan size yaklaşırken çıkardığı sesi, bir de sizi geçip ufukta kaybolana kadar sizden uzaklaşırken çıkardığı sesi karşılaştırın. Bu farka aslında hemen herkes günlük yaşamından aşina olsa da ilk defa olarak

Avusturyalı fizikçi Christian Doppler buna fizik içinde bir açıklama getirmeyi başarmıştır. Ses dalga şeklinde yayıldığı için ses kaynağının gözlemci doğrultusunda hareketli olması durumunda ses dalgalarının frekansı yükselecek ve gözlemcinin duyduğu ses normalden daha tiz olacak, aynı ses kaynağının gözlemciye ters doğrultuda hareketli olması durumunda ise ses dalgalarının frekansı azalacak ve gözlemci normalden daha kalın bir ses duyacaktır. Işık da dalga olarak yayıldığından aynı şey optik için de sözkonusudur. Bize yaklaşan nesnelere gelen ışık maviye (*blueshift*), bizden uzaklaşan nesnelere gelen ışık ise kırmızıya (*redshift*) kayar. Hubble galaksilerden gelen ışığın kırmızıya kaymasından, doğru olarak, bu galaksilerin bizden uzaklaştığı sonucunu çıkardı. Fakat mesele şu ki, yalnızca belirli bir yönde olanlar değil, hangi yönde olursa olsun istisnasız hepsinde gözlemleniyordu aynı fenomen. Dahası, galaksiler ne kadar uzaktaysa bizden o kadar daha hızlı uzaklaşıyorlardı. Kopernikus'tan beri gözlemci olarak bulunduğumuz noktanın evren içindeki herhangi bir noktaya göre hiçbir ayrıcalıklı özelliği olmadığını biliyoruz. Buna bu nedenle Kopernikus ilkesi adı verilir. Demek ki, nasıl en uzaktaki yıldızların bile üzerine bastığımız yerin etrafında döndüğünü varsayan Aristoteles-Ptolemaios astronomisini teyid için gezegenimizin bu varsayıma dayanak olabilecek hiçbir fazladan özelliği olamayacaksa evrende tüm galaksilerin bizden köşe bucak kaçacağı kadar bir kusurumuz da olamaz. Makul tek açıklama galaksilerin gözlemlenen bu hareketinin fiziksel olarak kendi hareketleri olmadığı, bunun bu galaksilerle aramızda bulunan uzam dediğimiz şeyin ta kendisinin genişlemesinden kaynaklanan bir efekt olduğuydu. Hangi yöne bakarsak bakalım bütün galaksiler bizden uzaklaşıyor, çünkü uzam her yerde genişliyor. Galaksiler ne kadar uzaktaysa gözlemlenen hareket o denli daha hızlı oluyor, çünkü aramızda ne kadar çok mesafe varsa, genişleyecek o kadar çok uzam var demektir. Uzam, demek ki Newton'ın düşündüğü gibi, Descartes geometrisinin koordinatlar ekseninde mutlak olarak ölçülebilecek, bunun dışında fiziksel nesnelere hiçbir etkileşim içinde olamayacak salt bir çerçeve değildi. Uzam dediğimiz şeyin doğasında, demek ki, olduğu gibi kalamamak, genişlemek var. Ama uzamın sonsuza kadar genişleyeceğini düşünmekte abes hiçbir nokta yoksa da, bu genişlemeyi geriye takip etmek istediğimizde bunun da sonsuza gidebileceğini söylemek artık mümkün olmaz. Çünkü evrenin daha az genişlemiş halinin bir noktadan da daha küçük olduğunu söyleyemeyiz. Yani en nihayet durmamız gereken bir nokta olacak. İlk defa Georges Lemaître'in ortaya attığı bu fikirden, bilindiği gibi, daha sonra *Big Bang* Teorisi (*Büyük Patlama*) ortaya çıkacaktır. Evreni oluşturan her şeyin 13.8 milyar yıl önce tek bir noktada toplu olduğu ve uzamın genişlemesiyle (*patlama!*) bugünkü şeklini aldığını söyleyen bu teori çok değişik şekillerde teyid edildiği için bugün hemen hemen tartışmasız kabul görür. Fakat bu teoriye dayanak olan, burada özetlemeye çalıştığım fenomen, henüz yine de

tam olarak anlaşılmış değil. Genişlemek uzamın doğasından kaynaklanan bir özellik gibi görünüyor. Karşı karşıya olduğumuz sorun henüz bunun tam olarak ne anlama geldiği bile değil. Bu savı şimdilik anlamını tam olarak kavrayamamak da doğru sayabiliriz. Fakat, o zaman, en azından bu genişlemenin hızını empirik olarak doyurucu bir tamlıkla ortaya koymak mümkün olmalı. Ne var ki Hubble sabiti adı verilecek olan bu değeri ölçme çabaları bizzat Erwin Hubble'ın kendisine kadar geriye gitse de, iki binli yılların başında bile bu değeri kabul edilebilir bir hata payıyla ölçmek mümkün olmadı. Bu nedenle bu sorun yeni milenyumun başlarından itibaren bilimin en öncelikli konularından biri oldu. Bu problemin çözümü için bir yol eski çözüm çabalarını çok daha hassas ölçümlerle tekrarlamaktı. Uzak yıldızların, galaksilerin uzaklığı yirminci yüzyılın başlarından itibaren “kozmetik mesafe merdiveni” (“cosmic distance ladder”) adı verilen, başlangıçları (ilk *basamağı*) Eratosthenes'ten bile öncelere giden bir yolla hesaplanır. Ne var ki bu yolla 2001 yılında yapılan bir ölçüm¹ bile Hubble sabitini ancak yüzde 10'a varan bir yanılma payıyla saptayabildi. Bu nedenle problemin çözümü için bu yolda ilerlemeye devam edenlerin önceliği bu 'merdiven'i çok daha hassas inşa etmek olacaktı. Aynı problemin çözümü için önerilen ikinci bir yol ise Hubble zamanlarında bile daha hiç kimsenin hayal edemeyeceği yepyeni bir yöntemle dayanıyor.

Bilim insanları 1940'lı yıllardan itibaren eğer *big bang* teorisi doğruysa bunun evrende bugün gözlemlenebilir bir izi olması gerektiğini öngörmeye başladı. Yapılan hesaplamalar evren henüz 380000 yaşında iken, yani bugün bildiğimiz maddenin yapıtaşları olan atomların henüz oluşmadığı bir dönemde, tüm uzamı elektromanyetik bir ışımının doldurmuş olması gerektiğini gösteriyordu. Bu ışımaya gerçi uzamın genişlemesine bağlı olarak enerjisini büyük ölçüde kaybetmiş olacaktı (*redshift!*). Ama hesaplamalar bu ışımının yine de mutlak sıfır noktasının net olarak ölçülmeye elverecek kadar üstünde bir değerde olması, dolayısıyla bugün de bütün evrende gözlemlenebilir olması gerektiğini öngörüyordu. Sonradan “kozmetik mikrodalga arkaplanı” (“cosmic microwave background” = CMB) adını alacak olan bu ışımının keşfi bütün bilim tarihinin en güzel hikayeleri arasındadır. Asıl amaçları uydularla haberleşmede daha etkili antenler geliştirmek olan bilim insanları geliştirdikleri yeni antenlerini uzayın hangi yönüne çevirseler aynı frekans aralıklarında bir gürültü tespit ediyorlardı. Bir yerde gözden kaçan bir hata olup olmadığını kontrol eder, antenin içinde yuvalanan güvercinlerin yuvalarını uzaklaştırır, pisliklerini temizler ve yeniden denerler. Ama sonuç aynı olur. Anteni nereye çevirseler hep aynı arkaplan sinyali. Çok geçmeden bu sinyalin az ötede, sadece 60 km mesafede bulunan Princeton Üniversitesinde başka bir ekibin

1 *Final results from the Hubble Space Telescope key project to measure the Hubble constant*: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0012376v1>

aradığı *büyük patlama* kalıntısı olduğu anlaşılır. Sonradan birer nobel ödülüyle taçlanacak olan bu rastlantısal keşif *big bang* teorisinin bugüne kadarki en önemli teyidi olmuştur. Bununla birlikte *kozmetik mikrodalga arkaplanının* (CMB) bilim için önemi *big bang* teorisi için kanıt oluşturmaktan çok daha fazladır.

Kozmik mikrodalga arkaplanı (CMB) için evrenin bebeklik döneminin fosil kaydı benzetmesi yapmak hiç yersiz olmaz. 65 milyon yıldır yeryüzünde hiç dinazor yaşamıyor. Ama toprak altından çıkarılan fosil kayıt sayesinde bilim insanları dinazorlarla ilgili hemen her hipotezi test edebiliyorlar. *Kozmik mikrodalga arkaplanı* da aynı şekilde evrenin oluşumunun ilk dönemlerine ilişkin teorilerin test edilmesinde mihenk taşı işlevi görüyor. Belki bundan da önemlisi, bu arkaplana ilişkin detaylı bir bilgi bize şu an içinde yaşadığımız evrene ilişkin evrenin yaşı, evrendeki madde, karanlık madde yoğunluğu, karanlık enerji ile oranları ve evrenin geometrisi gibi sorulara daha önce mümkün olmayan bir kesinlikle yanıt verme imkanı sunuyor. Bu kesinlik *arkaplanın* mümkün olduğu kadar detaylı bir haritasına bağlı olduğu için NASA bu amaçla 1989 yılında “Cosmic Background Explorer” (COBE) adlı araştırma uydusunu yörüngeye fırlatır. COBE'nin çözünürlüğü pek çok sorunun aydınlatılması için yeterli olmadığından yine NASA 2001 yılında “Wilkinson Microwave Anisotropy Probe” (WMAP) adında ikinci araştırma uydusunu devreye sokar. 2009 yılında ise bu defa Avrupa Uzay Ajansı (ESA) *arkaplanın* bugüne kadarki en detaylı haritasını çıkarmak üzere Planck araştırma uydusunu uzaya fırlatır. Planck uydusunun sağladığı verilerden elde edilen sorulara yanıt bulmak için dünyanın her yanından bilim insanları ekipler kurar. Bu ekiplerden birinin amacı Hubble sabitini o güne kadar hiç mümkün olmadığı kadar düşük bir yanılma payıyla belirlemektir. Buldukları sonuç %2'nin altında bir belirsizlik oranıyla 1 megaparsec'te 67.74 km/sn'dir.²

Planck ekibinin tüm yaptığı araştırma uydusunun deyimin gerçek anlamıyla uzay boşluğundan çıkardığı verileri analiz etmek olduğundan buradaki işin tek tek yıldızları gözlemleyen, karşılaştıran, kataloglayan geleneksel astronomi ile neredeyse hiçbir ilgisinin kalmadığını söylemek mümkün. Oysa binyılların bilgi birikimini mevcut teknoloji ile hayal edilemeyecek boyutlara taşıyan astronominin Hubble sabitinin belirlenmesinde söyleyeceği bir söz de olacaktır. Hubble sabitini bu 'klasik' yoldan bulmaya çalışanların izledikleri yol, en temelde, gözlemlenen galaksilerin bizden uzaklıklarının doğru bir şekilde ölçülmesine dayanır. Fakat galaksiler bizden öyle akılalmaz derecede uzaktırlarki bu mesafeyi doğrudan ölçmenin hiçbir yolu yoktur. Tek yol bu mesafeyi bildiğimiz başka mesafelerden karşılaştırma yoluyla çıkarsamaktır. Yukarıda da değindiğim gibi bu yönteme “kozmetik

2 *Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters:* <https://arxiv.org/abs/1807.06209>

mesafe merdiveni" ("cosmic distance ladder") adı veriliyor.

Bu 'merdiven'in ilk basamağı kökeni Eratosthenes'in zamanından bile öncelere dayanan *paralakstır*. Bir otomobilde giderken pencereden baktığımızda yakındaki ağaçların çok hızlı, daha uzaktakilerin daha yavaş hareket ettiğini, çok uzaklardaki tepelerin ise neredeyse hiç hareket etmediğini gözlemleriz. Bunun nedeni daha yakında bulunan nesnelerin daha büyük bir paralaks değerine sahip olmalarıdır. Paralaks buna göre aynı nesneye iki farklı noktadan baktığımızda bu nesnenin arkada sabit kabul edebileceğimiz bir fon üzerinde katettiğini gözlemlediğimiz mesafedir. Bunu doğrudan bir gözümüzü kapatıp başparmağımızı uzakta belirlediğimiz bir noktanın hizasına getirerek de deneyimleyebiliriz. Kapalı olan gözümüzü açıp diğerini kapatalım. Parmağımızın fon üzerinde başka bir noktaya 'hareket ettiğini' gözlemleriz. Aynı şeyi kolumuzu uzatıp kendimize çekerek tekrarlırsak parmağımız gözümüze daha yakınken hareketin daha çok, uzaklaştığında ise daha az olduğunu görürüz. Buradaki *paralaks* bizim derinlik algımızın da temelidir. İlginçtir ki, neredeyse burnumuzun dibindeki nesnelerin uzaklığını kestirmemizin temeli olan bu fenomen bize yıldızlar kadar uzak mesafeleri ölçmemizi de mümkün kılıyor. Fakat yakındaki nesnelerin uzaklığını kestirmek için iki gözümüz arasındaki mesafe yeterliyken daha uzak nesnelerin uzaklığını ölçmek için bu mesafeden çok daha fazlasını baz almak gerekecek.

Arka planda sarp dağların yükseldiği dümdüz ovanın orta yerinde, gözünüze kestirdiğiniz bir ağacın uzaklığını bu yöntemle ölçmek istediğinizi varsayalım. (Basit *triangulation* ya da nostaljik tınlı güzel Türkçesiyle *nirengi* böyle bir ölçüm için daha uygun bir yöntem, ama sizin zoru seçtiğinizi varsayalım.) Önce bulunduğunuz yerde arası diyelim 100 metre olan iki nokta belirleyin. Tabanını bu iki noktanın belirlediği, tepe noktasında ağacın bulunduğu bir ikiz kenar üçgen elde etmiş oldunuz. Şimdi bu noktalardan ilkinden baktığınızda arkadaki dağlarda ağacın hizasına denk düşen noktayı not edin. İkinci noktadan baktığınızda ağaç arka fondaki dağ üzerinde belirli bir mesafe kadar hareket etmiş görünecektir. Şimdi bu mesafenin 360 derecelik ufuk çizginizde kaç derece kapladığına, eğer dağ ağaca göre yeterince uzaksa, bulunduğunuz noktadan da baksanız, ağacın olduğu yere gidip oradan da baksanız, ölçülebilir bir fark ortaya çıkmayacaktır. (Birbirine yakın duran iki yıldız arasındaki mesafenin dağın tepesine çıkıp baksanız daha yakın olmayacağı gibi.) Fakat ağacın durduğu yerden bakabilmeniz dağdaki bu mesafenin ufuk çizgisinde kapladığı açısız büyüklük ile tam geriye dönüp bakacak olmanız en başta belirlediğiniz 100 metrelik mesafenin kapladığı açısız büyüklük birbirinin aynısı olacaktır. Bununla eşkenar üçgenin tepe açısını belirlemiş oldunuz. Eşkenar üçgeni ortadan ikiye bölerseniz bir açısının bulunduğunuz paralaks açısının yarısı olduğu, kısa ayağının ise 50 metre olduğu bir dik üçgen elde edersiniz. Üçgenin diğer

dik uzunluğunu belirlemek için gerekli olan artık basit trigonometri hesabıdır.

Hipparkos M.Ö. 130 yıllarında bu yöntemi kullanarak ayın uzaklığını ölçmüş ve bu mesafenin yerkürenin çapının 59 katı olduğunu bulmuş. Bugün bildiğimiz değer 60.3 olduğuna göre Hipparkos'un doğruya epeyce yaklaştığını söyleyebiliriz. (Hipparkos'tan önce Aristarkus bunu başka bir yöntemle ölçmüş, benzer bir sonuç elde etmişti.) Paralaks yöntemiyle ölçtüğümüz mesafelerin güvenilir sonuç vermesi en başta taban olarak belirlediğimiz mesafenin yeterince büyük olmasına bağlı. Oysa yeryüzünde seçebileceğimiz en büyük mesafe yerkürenin çapı kadardır. Giovanni Cassini ve ekibi ilk defa gerçekten bu ölçülere çıkmayı başaran bilim insanları olmuşlardır. 1672 yılında Jaen Richer ile birlikte dünyanın iki uç noktasından (Paris ve Fransız Guianası) aynı anda yaptıkları gözlemleri karşılaştırarak Mars'ın paralaks değerini ölçmüş ve buradan ilk defa olarak Mars'ın uzaklığını belirlemişlerdir. Kepler'in üçüncü yasası bütün gezegenler için güneşten ortalama uzaklıkları ile o gezegenin yılının uzunluğu arasında değişmeyen bir bağıntı kurar. Mars ile dünya arasındaki mesafenin bilgisinden, başka bir ölçüme gerek kalmadan, yalnızca Kepler'in bu yasası kullanılarak güneş sistemindeki diğer mesafeler ve en önemlisi dünya ile güneş arasındaki mesafe (1 AU) hesaplanabilir. Bununla birlikte burada doğal bir sınıra da gelmiş oluyoruz. Çünkü güneş sistemi dışındaki mesafeleri ölçmede taban olarak kullanmak için yerkürenin çapı çok küçük kalır. Fakat bu görüldüğü kadar büyük bir problem değil. Sonuçta yerküremiz bizi uzayın derinliklerinde bir o yandan bu yana, bir bu yandan şu yana taşıyıp duran bir uzay gemisi. Bu seyahatimiz esnasında 6 ayda bir önceki konumumuza göre güneşten ortalama uzaklığımızın iki katı (2 AU) kadar yer değiştirmiş oluyoruz. Bu mesafe bizden çok uzak olmayan yıldızların gözlemlenmesinde ölçülebilir bir paralaks yaratmak için yeterlidir. Fakat daha uzak yıldızlar sözkonusu olduğunda bu paralaks o kadar küçülecektir ki 10-15 ışık yılından daha uzak yıldızların uzaklığını bu yöntemle ölçmek artık mümkün olmaz. Bunun için bambaşka bir yol gereklidir.

Gökteki yıldızlar malum partinin amblemi gibi herbiri aynı tip, diyelim 100 wattlık ampül olsa onlardan gelen ışığın parlaklığı bize mesafeyi hesaplamanın bir yolunu verebilirdi. Fakat gökyüzünde güneşten daha soluk yıldızlar olduğu gibi ondan onbinlerce kez daha parlak olanları da var. Uzaklardaki 1000 wattlık ampülün hemen yanibaşımızdaki 10 wattlık ampülden daha parlak görünecek olması *görelî* parlaklığı mesafelerin kestirilmesinde bir seçenek olmaktan çıkarır. Fakat, eğer şurada gördüğümüzün 10 watt, burada gördüğümüzün 1000 wattlık ampül olduğunu, yani yıldızların bizce *gözlemlenen* değil, *mutlak* parlaklıklarını belirlemenin bir yolu olsa iş değişirdi. Gökyüzünde gördüğümüz yıldızların çok büyük çoğunluğu için bu mümkün değil. Fakat ilginçtir ki belirli bazı tip objeler için bunu

belirlemek mümkün. Mutlak parlaklıklarını belirleyebildiğimiz bu objelere yirminci yüzyılın başlarındaki keşiflerinden itibaren “standard mum” (“standard candle”) adı veriliyor.

Bu yöntemi ilk bulan ve “standard mum” terimini bilimsel literatüre kazandıran kişi 1868-1921 yılları arasında yaşamış olan Amerikalı bilim insanı Henrietta Swan Leavitt'tir. Bilimin henüz neredeyse tamamen erkek egemen bir dünya olduğu bir dönemde çalıştığı enstitüde Leavitt'e uygun görülen rol “computer”, yani hesaplayıcı olmaktı. Yapması beklenen oldukça rutin bir biçimde yıldızlara ait fotoğraflardan hareketle onları parlaklıklarına göre kataloglamaktı. Leavitt bunu yaparken *Cepheid* adı verilen yıldızlarda ilginç bir özellik fark eder. *Cepheid* adını Cepheus takım yıldızındaki Delta Cephei'nin adından alır. Ortak özellikleri parlaklıklarının değişkenliği olduğu için bu yıldızlara “değişken yıldızlar” (“variable stars”) adı da verilir. Leavitt bu yıldızların parlaklıklarındaki periyodlar ile bu yıldızların mutlak parlaklıkları arasında bir ilişki olduğunu keşfetti. Bu yıldızların periyodlarının uzunluğu ya da kısalığı onların mutlak parlaklıklarına bağlı görünüyordu. Yani yıldız ne kadar parlaksa periyodu da o kadar uzun sürüyordu.³ O halde bir *Cepheid*'in periyodunun uzunluğundan onun mutlak parlaklığını hesaplamak mümkün olacaktır. Bu da bu yıldızın *mutlak* parlaklığı ile bizce *gözlemlenen* parlaklığını karşılaştırarak onun uzaklığını hesaplamayı mümkün kılar. O halde bir galaksinin bizden uzaklığını tespit etmek için bu galaksinin içinde bir “standard mum” bulmak yeterli olacaktır. Bu astronomik objelerin uzaklıklarının hesaplanmasında gerçek anlamda bir devrimdir. Yine de, bu yeni yöntemin binlerce yıllık mağrur bir geçmişi olan *paralaks* yöntemini gereksiz kıldığını söylemek mümkün değil. Tersine, yakın çevremizdeki bazı *Cepheid*'lerin uzaklıklarını *paralaks* yöntemiyle hesaplayabiliyor olmasak bu yeni yöntem aracılığıyla çok daha uzak yıldızların mutlak uzaklıklarını hesaplamak mümkün olamazdı. “Kozmik mesafe merdiveni” ifadesindeki *merdiven* benzetmesinin asıl anlamı da budur.

Bu 'merdiven'in daha da üst basamağına “standard siren” adı veriliyor. Bu yöntem Samanyolu dışındaki galaksilerden gelen ışığın yukarıda değindiğim kırmızıya kayması (redshift) olgusuna dayanır. Fakat bu yöntemin işleyebilmesi için de en azından yakındaki bazı galaksilerin uzaklığının “standard mum” yöntemiyle belirlenebilmiş olması gerekir. Yani ölçme işine ilk iki basamağı atlayarak doğrudan bu basamaktan başlamak yine mümkün değil. “Standard siren” yöntemi içinde değerlendirilebilecek çok yeni bir teknik empirik olarak tespit edilmesi henüz birkaç yıl öncesine dayanan gravitasyon dalgalarının ölçülmesine dayanır. Bu yeni teknik bizden çok uzak galaksilerin uzaklığının ölçülmesinde çok daha hassas sonuçlar elde edebilmemizi sağlayacak gibi görünüyor.

3 *Period-Luminosity Relation for Variable Stars*: <https://www.astronomynotes.com/ismnotes/s5.htm>

1990 yılında uzaya fırlatılan Hubble Uzay Teleskopunun yerdeki teleskoplara göre en önemli avantajı kozmik mesafe merdivenini çok daha güvenilir sonuçlar veren bir yöntem haline getirebilecek olmasıydı. Yıldızlardan gelen ışık atmosfer koşullarından önemli ölçülerde etkilenir. Yeryüzü koşullarından hiç etkilenmeyecek olan bu uzay teleskopu standard mumların belirlenmesi, kalibre edilmesi gibi işlerde bu nedenle çok daha güvenilir sonuçlar verebilirdi. Yine de, bu görev, Hubble Uzay Teleskopunun asıl amaçlarından biri değil, bu amaçlara ulaşmanın yollarından biriydi. Hubble'ın amaçlarından üç tanesi henüz planlama aşamasında “anahtar proje” olarak belirlenmişti. Bu anahtar projelerden biri Hubble sabitini hata payı %10'dan küçük olacak şekilde belirlemektir. Bu proje kendisine koyduğu amacı başarıyla yerine getirdi ve sonuç 2001 yılında yayımlandı.⁴ Evren yüzde onluk bir belirsizlikle 72 km/sn/Mpc hızla genişliyordu. 2005 yılında John Hopkins Üniversitesinden Adam Riess önderliğinde başka bir grup bu belirsizlik oranını mümkün olduğu kadar aşağılara çekmek amacıyla yeniden aynı işe girişti. Buldukları sonuç: sadece %2-3 arasında bir belirsizlik payıyla 73 km/sn/Mpc. Bu sonuç Hubble Teleskopu grubunun 2001'de yayımlanan sonucunu aşağı yukarı teyid etse de, asıl etkileyici yanı belirsizlik oranının bu kadar aşağılara çekilebilmiş olmasıydı. Fakat iki grubun elde ettiği sonuçlar arasındaki bu uyum Planck grubunun sonucuyla karşılaştırıldığında tam bir felaket oluyordu. Planck grubu aynı sabiti 67 km/sn/Mpc olarak ölçmüştü. Üstelik belirsizlik payı sadece %1-2 aralığındaydı.

Adam Riess çalışmalarıyla bilimi karanlık enerjinin keşfine götüren üç bilim insanından biridir. Bu başarısından dolayı 2011 yılında diğer iki isimle Nobel ödülünü paylaştı. Riess'e göre Planck grubuyla kendi grubunun sonuçları arasında görünürdeki bu uyuşmazlık bu ikisinden birinin yanlış olduğu anlamına gelmiyor. Ona göre “bu, basitçe, iki deneyin uyuşmaması değil”. Buradan çıkan sonuç, bu nedenle, ona göre şu: “biz tamamen farklı şeyler ölçüyoruz”.⁵ Ölçümlerden biri bugün gördüğümüz evrene ilişkin, diğeri ise evrenin erken dönemlerine ait. Bu nedenle, Riess'e göre, “eğer bu iki değer uyuşmuyorsa, o zaman bu ikisini birbirine bağlayan kozmolojik modelimizde kaçırdığımız bir şeyler olduğu çok kuvvetli bir ihtimal olarak ortaya çıkıyor.” Bu uyuşmazlığın bu nedenle ancak *yeni* bir fizik ile çözülebileceğine inanan çok kişi var. Bu yönde atılan ilk adımlar akademik dergilerde yayımlanmaya başladı. Riess bu 'egzotik' teoriler karşısında net bir tutum almasa da onun çözümün nerede yattığına ilişkin belirli bir fikri var. Bugün yaygın olarak kabul gören Alan Guth'un *enflasyon teorisine* göre evren doğumunun ilk saniyelerinde 'enflasyon' bir hızla genişledi. Riess'in kendisinin bulunmasına öncülük ettiği karanlık enerji bize evrenin

4 *Final results from the Hubble Space Telescope key project to measure the Hubble constant*: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0012376>

5 Rob Garner, *Mystery of the universe's expansion rate widens with new Hubble data*: <https://phys.org/news/2019-04-hubble-universe-faster.html>

genişlemesinin içinde bulunduğumuz dönemde de artış gösterdiğini söylüyor. Riess bu ikisi arasında “erken karanlık enerji” adını verdiği bir başka dönemin daha bulunabileceğini düşünüyor. Bu “erken karanlık enerji” birbiriyle uyuşmayan bu iki sonucun arasındaki farkı açıklayabilir. Mesele şu ki Guth'un enflasyon teorisi yaygın kabul görse de bu enflasyonu neyin tetiklemiş olduğuna ilişkin bir fikrimiz yok. İçinde bulunduğumuz dönemdeki artışın sebebi olan karanlık enerjinin kaynağı konusunda da, 'karanlık' teriminin yeterince vurguladığı gibi, herhangi bir ipucundan yoksunuz. “Erken karanlık enerji” konusunda durumumuz hiç daha iyi olmayacak. *New York Times* “Have Dark Forces Been Messing With The Cosmos?” (“Zamanında Evrene Karanlık Güçler mi Musallat Olmuş?”) başlığıyla bu konuyu ele alan bir makale⁶ yayımladı. Evrenin genişlemesinde varsaydığı bu sıçrama dönemlerinin nedeni konusunda görüşlerine başvuru Riess bir email ile gazeteye şu yanıtı verir: “Belki de evren ara sıra bunu yapıyordur?”

Başta söylemeye çalıştığım gibi, empirik veriyi eldeki teorilerle uyumlu şekilde yorumlama olanağı kalmadığında başta uçuk gelen teoriler bile bilimsel bir seçenek olabilir. Eğer bu iki grubun vardığı sonuçlarda gerçekten hiçbir hata yoksa yine böyle bir durum karşındayız demektir. Ama vardığımız bu noktada belirli bir ümitsizliğe kapılmamak çok zor. Bu noktadan bakınca evren sanki bize sırlarını kötü bir gizem filmi gibi açıyormuş izlenimi veriyor. Bu türden vasat filmlerin ortak özelliğidir: bir gizem yaratıp seyirciyi sürüklersiniz, ama baştaki gizeme bir açıklama getirmek öyle kolay bir iş olmadığı için bunun altından kalkamayınca yepyeni bir gizem yaratarak önceki gizemi unutturmaya çalışırsınız. Evren de daha bir gizemi tam çözememişken bizi büsbütün yeni gizemler karşısında bırakıyor, bu gizemlerin çözülebilir olduğuna ilişkin inancımız da günden güne azalıyor. Bu iki grubun sonuçlarında bir hata olduğunu göstermek bu nedenle –en azından biz tarafsız izleyiciler açısından– çok daha arzu edilebilir olabilir. Her ne kadar bu hesaplamalar tekrar tekrar gözden geçirilmiş ve her iki grub da kendi sonuçlarından emin görünse de bu olasılığın tamamen dışarıda bırakıldığını söylemek mümkün değil. Burada eleyebileceğimiz olasılık en fazla *rastlantısal* herhangi bir hata yapıldığı olabilir. Rastlantısal hatalar, tanımları gereği rastlantısal olduklarından, ölçüm tekrarlandığında aynı şekilde tekrarlanmaları olasılığı çok düşüktür. Oysa bunun yanında bilim pratiğinde kaçınılması çok daha zor olan *sistemik hatalar* vardır. Bu tip hatalar kullandığımız ölçüm aletlerinden kaynaklanıyor olabilecekleri gibi, hesaplamalarımızın dayandığı kimi *örtük* kabuller de böyle bir hataya yol açıyor olabilir. Bu nedenle, buradaki kusur günyüzüne çıkarılmadığı sürece deneyimizi ne kadar tekrar edersek edelim hep aynı hatalı sonucu buluruz. Sözkonusu iki grubun asıl önemli uğraşları,

6 Dennis Overbye, *Have Dark Forces Been Messing With the Cosmos?*:
<https://www.nytimes.com/2019/02/25/science/cosmos-hubble-dark-energy.html>

tabii ki, bu tipte sistematik bir hata olmadığından emin olmak. Fakat bu tipteki hatalar sözkonusu olduğunda *tamamen* emin olmak çok zor, neredeyse imkansız.

Peki ya yapılan ölçümlerde gerçekten hiç hata yoksa? Ya bunu varsayan teorilerden en azından biri doğruysa, ya da doğru teorinin eli kulağındaysa?

Thomas Kuhn ölümsüz eseri *Bilimsel Devrimlerin Yapısı*'nda yeni teorilerin bilim dünyasında nasıl kabul gördüklerine ilişkin naif bir inancımız olduğunu yüzümüze vurur. Bu inancımıza göre eski teoriye inananlar yeni teorinin doğruluğuna ikna edilir, böylelikle yeni eskinin yerini alır. Oysa aslında olan biten Kuhn'a göre şudur: Eski teoriyi savunanlar ölür. Meydan yeni teoriyi savunanlara kalır. Bu nedenle, bazı konularda yaşlıların fikrini sormak, yalnızca nazik değil, kimi zaman akılcıca olabilse de, burada karşımıza çıkan türden bir ikileme ilgili neye inanmak gerektiği konusunda gençler gönül rahatlığıyla kendi bildiklerini okuyabilirler. Sonuçta evrenin kötü gizem filmlerine göre önemli bir farkı var. Bu film hiç bitmediği için eninde sonunda eldeki gizemlerin tamamen makul bir şekilde açıklanacaklarını ummak için bir nedenimiz olacak hep. Bu nedenle, filmi seyretmeye yeni başlayanlar filmden sıkılanların oflayıp puflamalarını duymazlıktan gelebilir.

Konuyla İlgili Okumalar İçin Kaynakça

Rob Garner, *Mystery of the Universe's Expansion Rate Widens With New Hubble Data*:

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/mystery-of-the-universe-s-expansion-rate-widens-with-new-hubble-data>

Michael Greshko, *The universe seems to be expanding faster than all expectations*:

<https://www.nationalgeographic.com/science/2019/04/hubble-constant-universe-expanding-faster-than-all-expectations/>

David W. Hughes, *Six Stages in the history of astronomical unit*, Journal of Astronomical History and Heritage 4(1): 15-28, 2001.

Dennis Overbye, *Have Dark Forces Been Messing With the Cosmos?*:

<https://www.nytimes.com/2019/02/25/science/cosmos-hubble-dark-energy.html>

Ethan Siegel, *This Is How Astronomers Will Resolve The Expanding Universe Controversy*,

<https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2019/02/01/this-is-how-astronomers-will-resolve-the-expanding-universe-controversy/#9de73ea2cda6>

Ethan Siegel, *Cosmology's Biggest Conundrum Is A Clue, Not A Controversy*:

<https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2019/05/03/cosmologys-biggest-conundrum-is-a-clue-not-a-controversy/#2bcb9ace78ea>

Ramin Skibba, *A Radically Conservative Solution for Cosmology's Biggest Mystery:*

<https://www.quantamagazine.org/a-radically-conservative-solution-for-cosmologys-biggest-mystery-20180501/>

"The Phantom Universe" –There's a New 'Unknown' Messing with the Cosmos:

<https://dailygalaxy.com/2019/03/the-phantom-universe-theres-a-new-unknown-messing-with-the-cosmos-weekend-feature/>