

RELATIVİSTİK KOZMOLOJİ MODELLERİ

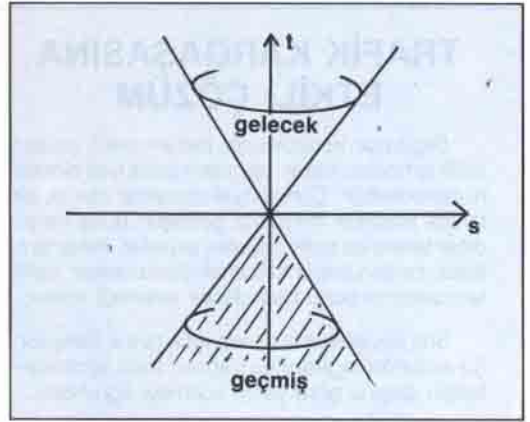
Prof.Dr. Tekin DERELİ*

Kozmolojinin amacı evrenin büyük ölçekli yapısını gözlemlerle belirlemek, bu gözlem sonuçlarını bilinen fizik yasalarıyla açıklamaktır. Kapsamı geniş ve bilgi sınırlarımızı zorlayan bir konu olduğu açık. Nedenleri; 1) Gözlem ufukumuzun sınırlı oluşu. Evrenin pek küçük bir bölgesini gözlemleyebildiğimizden kuşku yok. 2) Bu kapsamda bile yeryüzünde bulunup, deneylerle kanıtlanmış fizik yasalarını geçerlilik sınırlarının en ucundan da öteye genişletmek zorundayız. Benim araştırma konularım dışında kalan gözlemsel kozmolojiyi bir yana bırakırsam (bu konuda dergimizin Aralık 1984, Ocak ve Şubat 1985 sayılarına bakınız), kuramsal kozmolojinin ana uğraşı kısıtlı bir veri tabanından hareketle, olabildiğince az sayıda varsayım yaparak, olabildiğince çok gözlemlerle kanıtlanabilir öngörü elde edebilmektir. Bu uğraşlar sonuçsuz kalmıyor. Özellikle son yıllarda, temel parçacıklar ve bunların etkileşme kuvvetleri üzerine yeni buluşların ışığı altında, kuramsal kozmoloji, hayal gücümüzü zorlayan, bizleri düşünmeye iten yeni öngörüler getirdi. Ama bu konu üzerinde sonra duracağım. Önce kozmolojinin temel varsayımları nelerdir? Kısaca bunu tartışalım.

1. Bir g tensörüyle betimlenen metrik bir uzay-zaman yapısı kabul etmekteyiz. Bu şekilde gözlemci, bulunduğu noktada bir ışık konisi inşa etme olanağı bulur. Şu anda (yani merkez noktasında) yapılan kozmoloji gözlemleri, sadece geçmiş ışık konisi üzerindeki ve içerisindeki noktaların bir kısmı için veri sağlar. Gelecek ışık konisi ile ışık konisinin dışındaki noktalar hakkında veri toplayamayız. Dolayısıyla tüm uzay zaman üzerinde geçerli modeller kurmak için daha pek çok varsayımlar gereklidir.

2. Yerel fizik yasalarının tüm uzay zamanda geçerli olduklarını kabul etmekteyiz. Bu yasalar parçacıklar ve kuvvet alanlarının sağladıkları diferansiyel hareket denklemleriyle ifade edilmektedirler. Örneğin, gravitasyon alanlarını belirtmek için Newton denklemleri veya bunların relativistik genellemesini oluşturan Einstein denklemlerini kullanmaktayız. Elektromanyetik alanları betimlemek üzere Maxwell denklemlerini yazarız. Hareket denklemleri verilen maddenin uzay-zaman geometrisiyle etkileşmesi bir T enerji-momentum tensörü ile betimlenmektedir.

Sonuç olarak g ve T tensörleri, sadece geçmiş ışık konisinde bilindikleri halde, biz buradan hareket ederek, tüm evrenin yapısını tarif etmesi amaçlanan kozmoloji modelleri geliştirmekteyiz.

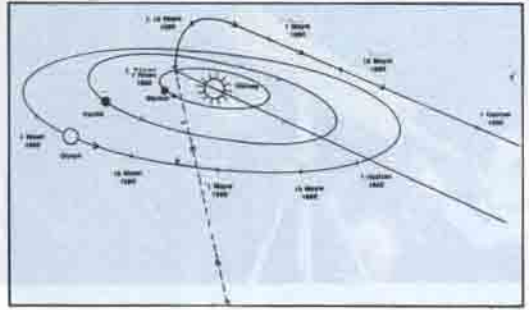


Sınanması gereken temel kozmolojik gözlemler nelerdir? Evrenin "büyük" ölçekli yapısı homojen ve izotropiktir. Biz bu varsayıma "Kozmoloji İlkesi" adını vermekteyiz. Bu ilkeyi açıklamak gerek. Çünkü evren daha küçük ölçeklerde hiç de homojen bir yapıya değildir. Uzayda büyük boşluklarla ayrılmış çeşitli boy ve şekillerde kütle yoğunlaşmaları görülmektedir. Böylesine karmaşık bir madde dağılımını anlaşılır kılmak için bir idealleştirmeye gidiyoruz: Evreni tüm uzaya düzgün olarak dağılmış hareketli nokta parçacıklardan oluşmuş kabul ediyoruz. Güneş sistemimizdeki bir gözlemci, bu yaklaşımla uzayın hangi yönüne bakarsa baksın aynı dağılımı algılamaktadır. (izotropluk = yönden bağımsızlık). Güneş sistemimizin uzayda özel bir konumu olmadığını biliyoruz. Öyleyse izotropluk uzayda herhangi bir gözlemci için de doğru olmalıdır. Bu ise evrenin homojenliği demektir. Ancak devinen bir evrenin homojenliğini tanımlamak, statik bir evrenin homojenliğinden çok daha zordur. Homojenliği kısaca uzayın bir alt bölgesindeki madde dağılımının herhangi diğer benzer bir alt bölgesindeki dağılıma eşdeğer olması diye tanımlasaydık aklımıza hemen "ne zaman?" sorusu gelecekti. Örneğin, Güneş sistemimizde gözlenen madde dağılımının zaman içinde aynı kalmadığını bilmekteyiz. Bu durumda homojenlik tanımını şöyle yapacağız: Bir gözlemcinin evrensel gözlemlerinin tümünün oluşturduğu küme, diğer bir gözlemcinin evrensel gözlemlerinin kümesine eşdeğerdir. Bu tanımın en önemli sonucu, bir kozmik zaman ölçeğinin varlığını gerektirir. Kozmolojik ilke ile beraber kozmik zamanın varlığını kabul ettiğimizde, uzay-zaman metriği belirlenmiş olur. Bu metrik hem Newtonsal, hem de relativistik kozmoloji modellerinin inşasında kullanılabilir. Uzayın genişleme faktörü $R(t)$ modeli belirleyen alan denklemlerinin çözümüyle bulunacaktır. Ancak $R(t)$ 'nin kendisi gözlemlerle ölçülemez. Gözlenir parametreler R ve R' 'nin türevlerinin bugün ölçülen değerleri cinisinde bulunurlar: $\frac{R'}{R}$ Hubble parametresi ve $-\frac{R''}{R'^2}$ ivme parametresi ilginçtir. Newtonsal kozmoloji modelleri yakın zamana kadar yukarıdaki anlamda incelenmişti. Bu modellerde uzayın bir ρ kütle dağılımı verilirse ϕ ile gösterilen gravitasyon potansiyeli, New-

* Ankara Üniversitesi Fizik Bölümü.

ton denkleminde bulunur. Bir genişleyen evren sınır şartlarını sağlamak için Hubble bağıntısını koşul almamız gereklidir. Bu modelleri tartışmayacağım. Sadece relativistik modellerle bir karşılaştırma yapabilmek için bazı niteliklerini sıralayacağım. Newtonsal modellerde 1 potansiyel, 2. dereceden tek bir lineer denklem tarafından belirlenmektedir. Gravitasyon alanına sadece kütle yoğunluğu bağlanmaktadır. Örneğin ışık, kütle çekiminden etkilenmez. Zaman mutlak bir kavramdır; bu nedenle uzayda ani sinyal iletimi olmaktadır. Uzayda tekil noktalar bulunabilir. Bunlara karşın relativistik kozmoloji modellerinde g metriksel tensörünün bileşenlerinden oluşan 10 potansiyel, 2. dereceden lineer olmayan 10 bağıllı denklem (Einstein denklemleri) tarafından belirlenirler. Enerji taşıyan her alan gravitasyon alanlarına bağlanmaktadır. g metriğinin belirlediği uzay-zaman geometrisi, nedensellik ilkesiyle uyumludur; tekillikler olabilir. Ayrıca sonsuz bir uzay, olası bir çözümdür. Newtonsal modellerden farkı olarak olay ufku ve karadelikler tanımlıdır; gravitasyon dalgaları bulunabilir. Einstein denklemlerinin kozmolojik çözümleri daha 1921'de A.Friedemann tarafından bulunmuştur. Eğrilik sabiti $k=1$ için sabit eğrilikli kapalı bir uzay bulmaktayız. $k=-1$ için sabit eğrilikli gözlenen açık bir uzay bulmaktayız. Bu yapı, hiperbolik topolojiye sahiptir. $k=0$ değeri için ise, uzay düzdür. Friedmann modelleri diye bilinen bu kozmoloji modelleri, bir hal denkleminin verilmesini gerektirir. Ancak tüm çözümler $t > 0$ başlangıç anındaki gerçek uzay-zaman tekiliğinden başlamaktadırlar. Kapalı uzaylar, belli bir zaman sonunda büzülmeğe başlayarak tekrar bir uzay zaman tekiliğine ulaşacaklardır. Açık uzaylar ise, sonsuza kadar genişlemelerini sürdüreceklerdir. Başlangıç tekiliğinde madde yoğunluğu sonsuza gitmektedir. Bu davranışın yorumu, evrenin bir başlangıç anında bir noktadan patlayarak genişlemeye başladığı ve çeşitli evrim fazlarından geçerek bugün gözlenen genişleyen evren fazına ulaştığıdır. Evrenin zaman içerisinde evrimi hangi fazlardan geçmiştir? Bunu açıklamak üzere öne sürülmüş pek çok senaryo var. Standart senaryolara göre erken evrim fazlarında evren ışıma doluyken daha sonra madde ile dolmuş ve daha yavaş genişlemeye başlamıştır. 1970'de gözlenen $2,7^{\circ}\text{K}$ 'lik evrensel fon ışıması, bu senaryonun kanıtı olmuştur. Ancak senaryonun olası daha da erken fazlarında, temel parçacık fiziğinin öngörülerine uygun olarak bazı değişiklikler yapmak gerekmiştir. Son yıllarda evrenin önce bir üstel genişleme fazından geçerek, bilinen Friedmann fazlarına ulaştığı kabul edilmektedir. Bu tür senaryolara enflasyonel modeller adı verilir.

Bir parçacık fizikçisi olarak, bu son yılların kuramsal kozmoloji araştırma konuları ilgimi çekmektedir. Evrenin yapısını anlamağa yönelik, yani 10^{28} cm mertebesinde gözlemlerle uğraş veren astrofizik ve kozmoloji ile temel parçacıklar ve etkileşme kuvvetlerini anlamağa yönelik, yani 10^{-23} cm mertebesinde gözlemlerle uğraş veren yüksek enerji fiziği aynı bir konu üzerinde birleşmiş oluyorklar. Kuramsal kozmoloji modelleri evrenin evrim senar-



Merkür, Venüs, Dünya ve Mars'ın Güneş etrafındaki yörüngelerinin şematik oluşumu.

yolarını oluşturmak için parçacık fiziğinin son buluşlarından esinleniyor. Yüksek enerji fizikçileri ise, hızlandırıcı deneylerinde kanıtlamaları yakın bir gelecekte olanaksız gözükken büyük birleştirme teorilerinin gözlemsel kanıtlarını kozmolojide arıyorlar. Parçacık fizikçilerinin araştırmaları pek çok ilginç sorunu gündeme getirdi.

1. Tek bir evren mi var?
2. Uzay-zamanın topolojisi basit midir, değil midir?
3. Kaç uzay boyutu vardır?
4. Evrensel sabitler G ve e gerçekten "sabit" midirler?
5. Evrendeki maddenin tümünü algılamakta mıyız?

Şu anda bu soruların cevapları üzerinde fazla bir şey bilmiyoruz. Fakat üzerlerinde araştırma yapmaya değer kanısındayım. □

* Bu yazı A.Ü. Fen Fakültesi Astronomi Araştırma Topluğ'u (ASAT)'nın 19.5.1990 günü düzenlediği III. Astronomi Günü'nde sunulan konuşmanın kısaltılmış metnidir.

