

ALTERNATİF EVREN MODELLERİ

Sevgi Karadağ

Doktora Öğrencisi, Fizik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
karadags@itu.edu.tr

Alp Öztarhan

Felsefe
alp.oztarhan@gmail.com

Cem Oran

Yüksek Lisans Öğrencisi, Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
oranc@itu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde modern kozmoloji araştırmalarının odak noktasını Büyük Patlama modeli ve Genel Göreliliğin oluşturduğu zemin üzerine inşa edilmiş olan Standart Kozmolojik Model oluşturmaktadır. Standart Kozmolojik Model astronomik gözlemlerle dikkate değer bir uyumluluk göstermekle birlikte, bu uyum beraberinde doğrudan gözleyemediğimiz karanlık fenomenlerin (karanlık madde ve enerji) varlığının kabul edilmesini gerektiriyor. Kozmoloji alanında ciddi bir mesai bu karanlık fenomenlerin kuram ve deney aracılığıyla ortaya çıkarılmasına adanmış durumda. Hatta fizik faaliyeti pek çok durumda eldeki kuramın gözlemsel verilere uydurulacak şekilde eğilip bükülmesine dahi dönüşüyor. Bu faaliyet sonucu "kuram" önemli oranda birbirinden bağımsız, hatta pek çok örnekte çelişik parçanın eklektik bir toplamına dönüşüyor. Diğer taraftan karanlık fenomenlere olan ihtiyacı tamamen ortadan kaldırmayı hedefleyen çeşitli kuramsal alternatif kozmoloji yaklaşımlarının geliştirildiği görülüyor. Geline nokta eklektik bütüne revizyonlar yerine, var olanı gereksizleştirecek şekilde içerip açacak devrimci bir hamleye gereksinim olduğu saptaması yapılabilir.

Bu yazıda öncelikle kozmoloji tarihindeki temel sıçramalar ile edinilen birikim korunarak Standart Kozmolojik Modelin üzerine inşa edildiği kuramsal ve gözlemsel bulgular ve modelin temel çıkarımları ortaya konuldu. Daha sonra halihazırda var olan alternatif kozmolojik modeller incelenerek makul bir kozmolojiden neler beklememiz gerektiği tartışıldı.

Anahtar Kelimeler: Evren Modeli, Kozmoloji, Büyük Patlama, Karanlık Fenomenler.

ALTERNATIVE COSMOLOGICAL MODELS

ABSTRACT

The main focus of contemporary cosmology research is the Standard Cosmological Model which is established on the base constructed by the Big Bang Model and General Relativity. Although the Standard Cosmological Model is considerably well adjusted with the astronomical observations, this adjustment relies on the existence of dark phenomena (dark matter and energy) which we cannot observe directly. Huge amount of effort is dedicated to figure out what these dark phenomena are, both experimentally and theoretically. In fact, research on physics itself is turning into an act of deforming the interested theory in order to fit the observational findings. As a result of these acts, "the theory" turns into an eclectic collection of independent and sometimes, as shown by several examples, even conflicting, pieces. On the other hand, it is seen that various alternative cosmology approaches aiming to completely get rid of the dark phenomena are currently developed. At this point, we can conclude that instead of revisions to the eclectic sum we need a revolutionary jump which renders the status quo unnecessary by incorporating and surpassing it.

In this paper, we explain the fundamental outcomes of the Standard Cosmological Model and the theoretical and experimental findings on which the model is established while preserving the knowledge obtained from the important jumps in the history of cosmology. Then, we review currently existing alternative cosmological models and discuss what one should expect from a reasonable cosmology.

Keywords: Cosmological Model, Cosmology, Big Bang, Dark Phenomena.

GİRİŞ

Günümüz biliminin temel kabullerinden biri, maddenin yoktan var olmadığı ve varken yok olmadığı, yalnızca biçim değiştirdiğidir. Antik çağdan beri bilimsel yaklaşımlara temel olan bu önerme, 19. yüzyıl içindeki bilimsel gelişmelerle "kütlenin korunumu" ve "enerjinin korunumu" yasaları olarak formüle edilmiştir. Einstein'ın katkısı, bu iki maddi biçimin birbirine dönüşümü ile, enerjinin de maddenin bir biçimi olarak kabul görmesiyle birleştiril-

miştir. Kütle ve enerjinin korunumu birlikte maddenin korunumu olarak adlandırılabilir ve yalnızca diyalektik materyalizmin değil fizik, kimya, biyoloji gibi bilimsel disiplinlerin ötesinde modern bilimin temel taşları ve önemli kazanımları arasındadır.¹

Bu nedenle maddenin korunumunu ihlal eden bir teori-

¹ Modern fizikte madde ile kuvvet, madde ile kütleçekim alanı vb arasında yapılan ayrımlar, teknik nedenlerle yapılmaktadır ve felsefi arka planda böyle bir ayrımın yapılması zorunlu değildir. Materyalist açıdan, fiziksel entitelerin bütünlüğü «madde» kavramı ile temsil edilir, dolayısıyla teknik jargondaki ayrım felsefi açıdan yoktur.

nin bunu yeterince açıklaması, ya da yerine bir şey koyması beklenir. Standart kozmolojinin özellikle burada sorunu olduğu saptanabilir. 10^{-43} saniyeden öncesine, ya da “evrenin başlangıcı” olduğu iddia edilen döneme dair teori içinden bir şey söylenemeyeceğinde herkes hemfikir. Bu alan “üzerinde bilimsel olarak konuşulamayacağı”² tescillenmiş olmasına karşın işin bu kısmı en çok konuşulan kısmı. “Evrenin başlangıcı”, “zamanın başlangıcı” gibi ifadeler popüler bilim yazınından eksik olmuyor. Oysa bu alan üzerinde konuşmak bilimsel bir konuşma değil, felsefi bir konuşmadır. Bilimsel meşruyetin bu alana tahvil edilmesi sınırlıdır. Bilim insanların çoğunluğu bu alanda edilen deistik propagandaya sessiz kalarak suç ortaklığı yapmakta, en hafif ifadeyle bu propagandaya meze olmaktadır. Oysa o (mistik/deistik) çıkarımların “bilinmeyenlere yaslanarak” yapıldığını belirtmek sorumlulukları var.

Teorinin boşluk ve eksikleri olması kaçınılabilecek bir şey değildir. Tüm bilimsel teoriler gerçekliği belli yönleriyle kavramamıza yarar, buna karşın gerçeklikle etkileşimimiz artıp çeşitlendikçe bir noktada yetmez olur ve içerilip aşılması gerekir. Bu, teorinin yanlış veya kötü olduğu anlamına gelmez, yalnızca tüm teoriler gibi (ve genel olarak her türlü bilgi gibi) aşılabileceği ve geliştirilebileceği anlamına gelir. Teori, değerini eksiksizliği veya ulvilüğinden değil bize kazandırdığı dönüştürme gücünden alır.

Teorinin eksikli olması da mutlak değildir. Bugün eksik görünen noktalar, ileride daha gelişkin bir bakış ve teori ile kavranabilir. Bu teori de eksikli olacaktır, bu durum çabanın sonuçsuz olduğu anlamına gelmez, ancak bu eksikliğin bizim dönüştürme gücümüze koyduğu sınırlar görünür olduğu oranda eldeki teorinin dışına gözümüzü dikmemizi meşru ve zorunlu kılmaktadır.

Yazımızda bu aranırlara dair felsefi bir özen içinde bir toparlama yapmayı hedefliyoruz.

KOZMOLOJİ TARİHİNDEKİ TEMEL SİÇRAMALAR

Milattan önce dördüncü yüzyıl civarlarında Aristo’nun temellerini attığı, Batlamyus’un ise geometri ve kinematik hesapları ile geliştirdiği “Yer merkezli” evren modeli gökyüzündeki cisimlerin hareketlerini yorumlama çabasında karşımıza çıkan ve uzun yıllar kabul görmüş olan ilk evren modeli olarak ele alınsa da, kabul gördüğü 16-18 yüzyıl boyunca Güneş’i merkeze alan modelleri savunan düşünürler/astronomlar de/da vardı. (Aristo ile yakın dönemlerde yaşamış olan Aristarkus’un Dünya’nın değil Güneş’in merkezde olması gerektiğini savunduğu bilinmektedir. Aristarkus hem Dünya’nın kendi etrafında hem de Güneş etrafında devindiğini gök cisimlerinin büyüklükleri üzerine yaptığı basit hesaplarla öngörmüştü. Ancak modeli 16. yüzyılda Kopernik’in “Güneş merkezli modeli”ni geliştireceği zamana kadar “yer merkezli” modelin gölgesinde kalmış, geçerli bir model haline gelememiştir (Evans,

2020).) “Yer merkezli model” evreni küresel ve sonlu; Dünya’yı evrenin merkezinde ve hareketsiz; Ay, Güneş ve diğer gezegenlerin ise Dünya’nın çevresinde dairesel yörüngelerde devindiklerini varsayıyordu. Model hem takvim oluşturmak, tarımsal faaliyetleri düzenlemek gibi bazı pratik kolaylıklar sağlaması sebebiyle hem de evrene “ilahi ve değişmez” bir rol biçtiği için kilisenin desteğini de arkasına alarak çok uzun yıllar geçerliliğini sürdürmüştü.

Kilise tarafından da kabul gören yer merkezli model geometri hesaplarında ve bazı gök olaylarını açıklamakta başarılı olsa da fiziksel bir temele sahip değildi. Ancak o dönemde hem henüz Galileo fiziği ile tanışmadığımız için “yerin dönmesi” durumunda ortaya çıkan sorulara (“Yukarı atılan taş nasıl aynı yere düşüyor?” gibi) cevap verilemiyor olması hem de teolojik temellerinin sağlam olması sebebiyle modelin sorgulanması zorlaşmıştır.

Kopernik hareketsiz Dünya’nın yerine merkeze “hareketi gözlenebilen” Güneş’i koyduğunda ise dönemin katı, dini temellere dayanan evren anlayışı kökten bir değişime uğruyordu. Kopernik de cisimlerin hareketi için Batlamyus’un modelindeki gibi çembersel yörüngeler tariflemiş olmasına karşın, onun modelinde asıl dikkat çekilmesi gereken nokta modelinde Dünya ve insan merkezli bakış açısını yıkıyor oluşu ve bilimsel yaklaşımların geliştirilmesinde başvurulanan “öngörü gücü”nü sağlamasıdır (Olpak, 2018).

Kepler’in eliptik yörüngeler mekaniği üzerine yaptığı çalışmalar ve Galileo’nun deney ve gözlemlerini oturttuğu matematiksel yorumlar neticesinde “Güneş merkezli model”deki hatalar düzeltiliyor ve temelleri sağlamlaştırılıyordu. Kopernik, Kepler ve Galileo’nun çalışmaları kilisenin “kutsal” modeline karşı çıktığı için bilimsel bir devrim niteliği kazanmış ve modern bilimin doğuşuna yol açmıştır.

Kopernik, Kepler ve Galileo’nun çalışmaları Newton’a da gözlemlerini yorumlamak ve doğayı anlamlandırmak, onun işleyişi konusunda matematiksel yorumlar geliştirmek konusunda yol gösterici oluyor. Newton’ın fiziğin birçok alanına katkı sunduğu bilinmektedir. Ancak bunlar arasından hareket yasaları, evrensel kütleçekim yasası ve limit hesabı ile ilgili çalışmaları özellikle doğayı anlama çabamızda önemli bir yere sahiptir. Newton’ın hareket yasaları hem Kepler’in eliptik yörüngeler ile ilgili yasalarını içeriyor hem de var olan mekanik bilgisini ileriye taşıyordu. Newton hareket yasalarındaki en dikkate değer ayrıntı, onları ortaya koyarken yeryüzü ve gökyüzü için bir ayrım gözetmemesiydi. Bu o dönem için “devrimci” bir nitelik taşıyordu. Bu zamana kadar konuştuklarımız içinde iki taraftan da teolojik yoruma sahip olanlar olmasına karşın, burada asıl mesele artık modern bilimin bu boyunduruktan kurtulabilmiş olmasıdır (Olpak, 2018).

20. yy. başlarına kadar evren üzerine yapılan çalışma-

2 “Üzerinde konuşulamayan konusunda susmalı” (Wittgenstein, 1985)

larda zaman hareketten bağımsız olarak ele alınıyordu. Einstein görelilik kuramını ortaya attığında ise zamanın 3 boyutlu uzaydan ayrı düşünülemeyeceğini şu şekilde ifade etmişti; “Her referans cisminin kendine özgü zamanı vardır. Zamanın ait olduğu referans cismi bize bildirilmediği takdirde, ‘bir olayın zamanı’ ifadesinin hiçbir anlamı yoktur.” (Einstein, 1998, sf30). Yani bir cismin hareketinin tam anlamıyla tariflenebilmesi için o cismin yörüngesinin cismin ne zaman hangi noktada olduğunu belirtecek şekilde ifade edilmesi gerektiğini ve bir niceliğin gözlenmesinin mümkün olabilmesi için zaman tarifinin büyük önem arz ettiğini söyler (Einstein, 1998, sf17). Tüm bu ifadeler göz önünde bulundurulduğunda, hareketin tam bir tarifi için Newton mekaniğindeki gibi 3 boyutlu Öklidci uzayda değil, zamanı da içeren 3+1 boyutlu Minkowskici uzayda çalışmanın gerekli olduğunu anlarız (Olpak, 2020). Einstein fiziksel olayların/gerçekliğin dört boyutlu uzay-zaman ile tanımlanması gerektiğini dile getirirken aynı zamanda nesnellığe de vurgu yapıyor, “uzay-zaman’ın nesnel olarak bölünemeyecek dört boyutlu bir süreklilik” olarak kabul edilmesi gerektiğini belirtiyordu (Einstein, 1998, sf142).³

Einstein 1905 yılında yayınladığı makalesinde Özel Görelilik Kuramını oluştururken iki postulatı temel alıyor; fizik yasaları birbirlerine göre ivmesiz (sabit hızda) hareket eden bütün referans sistemleri için aynı olmalı ve ışığın boşluktaki hızı hem gözlemciden hem de kaynağından bağımsız olarak belirli bir sabit değerde olmalıdır (Einstein, 1920).

Özel Görelilik Kuramı ile birlikte yalnızca hareketsiz ve ışık hızından çok yavaş hızlarda hareket eden cisimler için geçerli sayılan Newton’ın kütleçekim kuramının “hareketli” referans sistemleri için de geçerli olabileceği görülmüştü. Ancak Özel Görelilik Kuramı da ivmeli referans sistemlerindeki hareketi açıklamak için yeterli değildi. Einstein ivmeli referans sistemleri için de geçerli olacak daha genel bir kurama ihtiyaç olduğunu anlıyor ve 10 yıl süren çalışmaları neticesinde 1915 yılında yayınladığı 4 makale ile Genel Görelilik Kuramı’nın temellerini atıyordu (Einstein, 1997).

Genel Görelilik Kuramında Einstein bir enerji/madde yoğunluğunun uzay-zamanı nasıl büktüğünü göstermişti. Newtoncu mekanikte kütleçekim bir dış kuvvet olarak ele alınıp, cisimlerin de bir kütleçekim alanı içinde hareket ettikleri kabul ediliyordu. Genel Görelilik Kuramına göre ise kütleçekim kuvveti aslında eğrilikten kaynaklanan bir fiziksel etkiden ibaretti ve maddenin eğri uzay-zamandaki hareketini belirliyordu. Fizikçi John Wheeler bu ilişkiyi “Madde uzay-zamana nasıl eğ-

rileceğini söyler, uzay-zaman da maddeye nasıl hareket edeceğini söyler.” şeklinde özetliyor (Wheeler ve Ford, 2000). Einstein’ın kendi ifadesiyle “uzayın geometrik özellikleri bağımsız değildir ve maddeyle belirlenir.” (Einstein, 1998, sf108). Bu ifade aynı zamanda Einstein’ın “maddenin öncelenmesi”ne verdiği önemi de görmemizi sağlıyor.

Einstein evrenin büyük ölçeklerdeki (gökada kümeleri ve daha büyük ölçeklerde) yapısı için izotropik⁴ ve tekdüze (uniform, eş dağılım) bir dağılım bekliyordu. Elde ettiği alan denklemleri aslında genişleyen bir evren modeline işaret ediyor olmasına rağmen, kendi öngörüsünün statik bir evren modeli olması sebebiyle teorisine bir “kozmozolojik sabit” ekliyordu (Einstein, 1986). Bu sayede kütleçekim etkisini dengelemiş ve statik olarak varsaydığı evrenin hem büzüşmesini hem de genişlemesini engellemiş olacaktı.

Ancak daha sonraları Aleksandr Fridman, Einstein alan denklemlerinin dinamik bir evren modeli için geçerli olabileceğini gösterdi (1922). Bunu takiben Edwin Hubble’ın 1929 yılında uzak gökadalara dair gözlemleri evrenimizin genişlediğini ortaya koydu. Hubble Samanyolu dışındaki gökadalardan bizden uzaklaştığını, bu gökadalardan gelen ışığın kırmızıya kayma⁵ miktarlarını inceleyerek görmüştü. Uzaklaşma miktarları gökadalardan Samanyolu’na olan uzaklıkları ile orantılıydı. Yani uzaktaki gökadalar yakındakilere kıyasla daha hızlı uzaklaşıyordu. Bu gözlemler Georges Lemaître’nin evrenin genişlemekte olduğunu ortaya çıkaran hesaplamaları ile de uyum içindeydi. Tüm bu gelişmeler Einstein’ın statik evren modelinden vazgeçip “genişleyen bir evren” fikrini kabul etmesini sağlıyor.

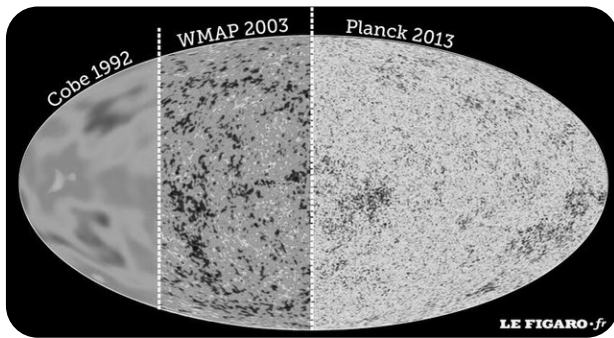
Genişleyen bir evren senaryosunun doğal bir sonucu olarak her şeyin bir noktadan başlamış olabileceğine dair düşünceler “Büyük Patlama (Big Bang)” fikrini doğurmuştur. İlk kez 1927’de astronom Georges Lemaître tarafından temelleri atılan Büyük Patlama modelini bugün evrenin başlangıcına ve nasıl evrildiğine dair en geniş kabul gören model olarak biliyoruz. Başlangıçta (t=0 anında) sonsuz yoğunlukta ve sıfır hacimde olan maddenin henüz bilinmeyen bir sebeple aniden genişlediği ve zamanla soğuyup daha da genişleyerek evrenimizi bugünkü hâline getirdiği hipotezine dayanıyor. Modelde Planck zamanı olarak bildiğimiz 10^{-43} saniye evrenin başlangıç anı olarak kabul ediliyor. Bu anda evrenin homojen ve izotropik, oldukça yoğun ve sıcak (bunlar yaklaşık olarak Planck boyutları olarak kabul ediliyor.)(10^{-33} cm boyunda ve 10^{32} Kelvin sıcaklığında) olduğu düşünülüyor.

3 Özel Göreliliğin Newtoncu mekanikten farkı “aynı andalık” kavramı ile bir ölçüde anlaşılabilir. Newtoncu mekanikte bir eylemsiz çerçevede aynı anda gerçekleşen iki olay bütün eylemsiz referans sistemleri için aynı anda gerçekleşir, burada zamanın mutlaklığını görebiliriz. Ancak Özel Görelilikte bir olayın aynı anda gerçekleştiği referans sistemlerinin varlığı artık o referans sisteminin nasıl seçildiğinden bağımsız değildir. Yani bir referans sisteminde aynı anda gerçekleşen bir fiziksel olay, bir başka referans sisteminde aynı anda gerçekleşmeyebilir

4 Bir maddenin ya da sistemin yönden bağımsız olarak aynı özellikleri göstermesi. Evren için bu, yeterince geniş bir ölçekte hangi yöne baktırsak bakalım evreni aynı şekilde gözlemleyeceğimiz anlamına geliyor.

5 Doppler kayması: Bizden uzaklaşan yıldızların ışıkları kırmızıya kayar. Bize ulaşmak için katedecekleri mesafe fazla olacağı ve uzun dalga boylu ışığın rengi de kırmızı olduğu için bizden uzaklaşan gökadalara kırmızıya kaymış görürüz. Bize yaklaşan yıldızların ışıkları ise maviye kayar.

1940'ların sonlarına gelindiğinde George Gamow, Ralph Alpher ve Robert Herman Fridman'ın dinamik evren modelinden ve Büyük Patlama fikrinden yola çıkarak evrenin erken dönemlerinde ağır elementlerin (He, Li) oluşumlarını açıklayan "İlkel nükleosentez (primordial nucleosynthesis)"⁽⁶⁾ sürecini modelliyorlar. Aynı zamanda Büyük Patlama fikrine dayalı bir modelleme yapıldığında bugün evrende homojen ve izotropik olarak dağıtılmış, mutlak sıfır sıcaklığının 4-5 °K üzerinde bir arka plan ışımasının (siyah cisim ışıması) bulunması gerektiğini hesaplıyorlar. Bu ekipten bağımsız olarak Arno Penzias ve Robert Wilson tarafından 1962 yılında rastlantı eseri görüntülenen bu ışıma CMB (cosmic microwave background- kozmik mikrodalga ardalan) ışıması olarak adlandırılıyor. Bütün evreni kapladığı düşünülen CMB ışıması üzerine yapılan çalışmalar bu kalıntının (Büyük Patlama'dan 380 bin yıl sonra, evrenin sıcak ve yoğun zamanlarında) ilk atomların oluşumu sırasında serbest kalan fotonlardan kaynaklandığını göstermektedir (Şekil 1). CMB'den gelen radyasyonun, günümüze kadar geçen süreçte 2.725 K sıcaklığına kadar soğuduğu ölçümlerle tespit edilmiştir.



Şekil 1. CMB’de gözlenen sıcaklık dağılımı ve dalgalanmalarını gösteren harita. Gözlem uydularının çözünürlüğü arttıkça CMB’deki dalgalanmalara dair daha ayrıntılı sonuçlar elde edilebildiğini görüyoruz (COBE - WMAP - Planck⁽⁷⁾ verileri kullanılarak elde edilmiştir.) (Vazquez ve ark., 2018).

Büyük Patlama modelinin en öne çıkan dayanak noktaları; evrenin genişliyor oluşu, evrenin erken zamanlarındaki ilkel nükleosentez döneminde ortaya çıkan hafif elementlerin (H, He) bolluğu ve CMB'nin bugün ölçülen sıcaklığının evrenin geçmişte çok daha sıcak olduğuna işaret etmesinin bugünkü gözlemlerle uyuşması olarak gösteriliyor. Ancak evrenin genişlemesinden yola çıkılarak oluşturulan “Büyük Patlama” modeli Standart Kozmolojik Modelin tutarlılığını sağlamak açısından kulla-

6 Bu dönemde oluşan çekirdekler yaklaşık yüzde 75 H, yüzde 25 He, eser miktarda da Li elementlerinden oluşuyor.

7 Mikrodalga tayfında gözlem yapan uydular.

nışlı görünse de hipotetik bir ön kabule dayandığından hâlâ açıklanmayı bekleyen bir problem olarak karşımızda duruyor. Modelin problemlerini yazının ilerleyen bölümlerinde daha ayrıntılı bir şekilde ele alacağız. Bunun öncesinde günümüzde kozmoloji çalışmalarının odağında yer alan Standart Kozmolojik Modelin temel kavramlarına değineceğiz.

STANDART KOZMOLOJİNİN GELİŞİMİ

1. Standart Kozmolojik Model Üzerine

Standart Kozmolojik Modelin temelini Büyük Patlama modeli ve Genel Görelilik oluşturur. Genel Göreliliğin doğadaki dört temel kuvvetten biri olan kütleçekimi oldukça iyi bir şekilde ifade edebiliyor oluşu, çeşitli kütleçekim rejimlerinde gerçekleştirilen gözlemler ile tekrar tekrar desteklenmiştir. Ancak bu, kütleçekime dair elde edilen güncel gözlem verisi ile Genel Göreliliği sınamaya ara verildiği anlamına gelmiyor. Lazer ile Ay yüzeyinden uzaklık belirleme ölçümleri ve Cassini projesi gibi uzay görevleri ile Güneş Sistemi ölçeğinde gerçekleştirilen deney ve gözlemlerin, içerisinde milisaniye-pulsarları bulunan ikili ve üçlü yıldız sistemleri üzerinde yapılan daha büyük ölçekli gözlemlerle yarış halinde olduğu söylenebilir; amaç kütleçekime dair daha hassas kısıtlamalar getirmek ve dolayısıyla Genel Göreliliği (ve tabii alternatif kuramları) daha zorlu sınamak. Kütleçekimsel dalga astronomisi ve kara delik görüntüleme tekniklerindeki gelişmeler sayesinde artık güçlü kütleçekim rejimlerinde Genel Göreliliği test etmek mümkün. Zira bu zamana kadar LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory: Lazer İnterferometre Kütleçekim Dalga Gözlemevi) ve EHT'den (Event Horizon Telescope: Olay Ufku Teleskopu) gelen sonuçlar Genel Göreliliği doğrular nitelikte oldu.⁽⁸⁾

Genel Görelilik, doğadaki diğer üç temel kuvvetin (elektromanyetik kuvvet, yağın (güçlü) ve zayıf nükleer kuvvetler) işleyişini açıklayan ‘parçacık fiziğinin Standart Modeli’ ile birlikte kozmolojik ölçeğe uygulandığında, evrendeki maddenin (ve maddenin oluşturduğu büyük ölçekli kozmolojik yapıların) evrimini ve davranışlarını anlamada güçlü araçlar oluşturuyor. Öyleyse diyebiliriz ki, laboratuvaradaki ve Güneş Sistemindeki testlerden başarıyla geçen Genel Görelilik ve parçacık fiziğinin Standart Modeli, Büyük Patlama modeliyle birlikte günümüzdeki deney imkanlarıyla ulaşabileceğimizin ötesinde bir ölçek ve enerji seviyesindeki rejimlerde neler olduğuna dair tahminde bulunmamızı sağlayan bir zemini meydana getiriyor. Standart Kozmolojik Model işte bu zeminin üzerinde yükselir. Standart Kozmolojik Model kozmolojik gözlemlerle dikkate değer bir uyumluluk gösteriyor; evrenin genişlemesi, büyük ölçekli

8 LIGO ile iki büyük kütteli kara deliğin çarpışması sonucunda açığa çıkan kütleçekimsel dalgaların Genel Görelliğin öngördüğü şekilde ışıık hızında yayıldığı öölüldü (LIGO Scientific Collaboration ve the Virgo Collaboration, 2016). EHT ile yapılan gözlemler sonucu M38 gökadasının merkezindeki kara deliğin görüntüsünün oluşturulması ile bu kara deliğin olay ufku (ışığın hapsoldüğü karantlık merkezi bölgesinin) genişliğinin Genel Görelliğin öngörütleriyle uyumlu olduğu gösterildi (Event Horizon Telescope Collaboration ve ark., 2019)

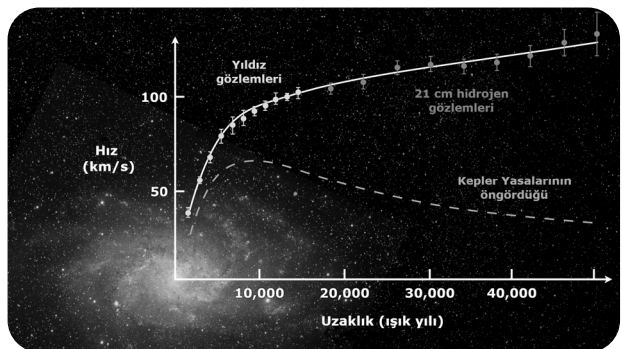
yapıların morfolojisi, farklı tipte parçacıkların bolluğu şu anki kozmolojik model aracılığıyla tutarlı bir şekilde modellenilebilir.

Ancak Standart Kozmolojik Modelin bu başarısı, evrenin direkt olarak gözleyemediğimiz bir karanlık bölümünün varlığı kabulüyle mümkün; evrendeki enerji yoğunluğunun %95'ini karşılayan egzotik malzemeler olan karanlık madde ve karanlık enerji. Evrene dair bilinen tüm parçalar, bu hipotetik karanlık bölümle bir araya getirildiğinde evrenin büyük ölçeklerdeki davranışının neye benzediğini gösteren bir tablo elde etmek mümkün. Bu tablonun günümüzde en geniş kabul gören ve en yalın matematiksel formülasyonu Λ CDM (Lambda Cold Dark Matter, Tr.: Lambda Soğuk Karanlık Madde) ismiyle biliniyor. Λ CDM, Genel Göreliliği evrenin enerji bütçesinin yaklaşık %70'ini oluşturan karanlık enerji (kozmozolojik sabit Λ), %25'ini oluşturan basınçsız, soğuk karanlık madde (CDM) ve kalan %5'ini oluşturan baryonik madde ve ısıma formülasyonu harmanlayarak kozmik tabloyu hayli iyi bir doğrulukla ifade edebiliyor (Ferreira, 2019).

Λ CDM'in ana çerçevesini, evrenin büyük ölçeklerde homojen ve izotropik olduğu (kozmozolojik ilke) ve geçmişte çok daha yoğun ve sıcak bir durumdan kısmen homojen bir şekilde genişlemekte olduğu kabulü oluşturur. Model bu kabulün üzerine, gözlemsel verilerle tutarlı şekilde düz bir geometriye sahip, büyük patlamadan başlangıcını alıp ivmelenerek genişleyen bir evren inşa eder. Bu noktada, gözlemlerden yola çıkılarak bir anlamda tersine mühendislik yaklaşımı ile modelin çeşitli parametrelerinin belirlendiğini vurgulamak gerekir. Keza gözlem teknolojilerindeki gelişmeler neticesinde 90'lı yılların sonlarından bu yana gerçekleştirilen bir dizi gözlemsel keşif hem kozmozolojik ilkeyi desteklemiş hem de modelin açık parametrelerinin mümkün olduğunca hassas bir şekilde belirlenmesine olanak tanımıştır. Evrenin ivmelenerek genişlediğine dair ilk sağlam gözlemsel veri uzaktaki Süpernova 1A'ların⁹ ısıma gücüne (luminosite) dayanarak yapılan uzaklık ölçümlerinden geldi (Riess ve ark., 1998). Kaşiflerine 2011'de Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıran bu keşif ile evrendeki genişlemeden sorumlu tutulan kozmozolojik sabit (Λ) (yani karanlık enerji) tekrar modelde yerini almış oldu. Birkaç yıl sonra yer ve hava merkezli araçlarla (BOOMERanG ve MAXIMA) yapılan CMB gözlemlerinden kozmozolojik sabitin varlığını ve evrenin düz geometriye sahip olduğunu destekler nitelikte bilgiler geldi. Sonrasında, WMAP (2003) ve Planck (2013) gibi uzay merkezli gözlem araçlarından gelen CMB verileri de bunu destekledi; pozitif eğrilik¹⁰ sahip evren fikri geçerliliğini büyük

ölçüde yitirmiş oldu. Ayrıca, yine aynı dönemde geniş ölçekli gökada kümelenmelerini haritalamak için yapılan gözlemler (SDSS, 2002) modelin evrendeki gökada dağılımının oluşturduğu büyük ölçekli yapıların bolluğunu da doğru bir şekilde tahmin edebildiğini gösterdi.

Modelin diğer karanlık bileşeni olan hipotetik karanlık madde fikrinin ilk ortaya çıkışı ise çok daha eski tarihlerle dayanıyor. Kayıtlara göre ilk kez 1884 yılında, Samanyolu'ndaki yıldızların gökadasal merkez etrafındaki dönüş hızlarındaki anomaliyi açıklamak için Lord Kelvin tarafından bir konuşması sırasında ortaya atılmıştı. Lord Kelvin, Samanyolu'nun görünen kütlelerine ilişkin yaptığı tahmininin, yıldızların beklenenden yüksek dönüş hızını baz alarak hesapladığı kütleden çok daha düşük olduğunu fark etmiş ve gökadamızdaki "birçok yıldızın, belki büyük çoğunluğunun, karanlık cisimler" olduğu tespitinde bulunmuştur (Bertone ve Hooper, 2018). Sırasıyla 1922 ve 1932 yıllarında, ikisi de zamanının önde gelen Hollandalı astronomları olan Jacobus Kapteyn ve Jan Oort Samanyolu'ndaki yıldızların hareketlerindeki anomaliyi karanlık maddenin varlığıyla ilişkilendirmişlerdir. Karanlık maddenin varlığına dair en büyük desteklerden biri, 1933'te İsviçreli-Amerikan astronom Fritz Zwicky'den geldi. Saç Gökada Kümesi'ndeki (Coma Cluster) 800 gökada üzerinde yaptığı incelemeler sonucunda, kümenin kendini bir arada tutmaya yetecek düzeyde görünür kütleyle sahip olmadığını ortaya koydu; gökadalara beklenenden çok hızlı hareket ediyorlardı (Bertone ve Hooper, 2018). 1960 ve 1970'li yıllarda Vera Rubin ve Kent Ford'un başını çektiği oldukça hassas gözlemler, gökadamızdaki yıldızların hareketlerinin merkezden uzaklaştıkça Kepler'in yasasının öngördüğünden farklı şekilde hareket ettiklerini açıkça ortaya koydu. Yıldızların yörünge hızları merkezden uzaklaştıkça azalacağına düz sabit bir trend gösteriyordu. Gökadasal dönme eğrilerine dayanarak yapılan hesaplamalara göre çoğu gökada görünür kütlelerinden yaklaşık 6 kat fazla görünmez bir kütleyle sahip olmalıydı (Randall, 2015).



Şekil 2. Spiral gökada Messier 33'ün dönme eğrileri. Beyaz ve gri noktalar gözlem verilerini gösterirken, kesikli çizgi gökadanın görünür kütle için öngörülen dönme eğrisini göstermektedir (De Leo, 2018).

Kısacası, Λ CDM modeli gözlemsel veriler ışığında hassas bir şekilde ayarlanarak çalışmaktadır. Günümüzde kozmozolojik çıkarımları Λ CDM'in hassas kıstasları (çoğunluğunun hassasiyeti %1'in altında) cinsinden ifade etmek alışlagelmiş bir durumdur.

9 1A tipi süpernovalar benzer süreçlerden geçen ve birbirlerine yakın külelere sahip beyaz cücelerin patlamasıyla oluştuğundan ısıma güçleri tahmin edilebiliyor. Bu bilgi, süpernovanın ölçümlenen ısımasıyla karşılaştırılarak uzaklık tespiti yapılabilir.

10 Evrenin pozitif eğrilik¹⁰ sahip olması, tıpkı Dünya'nın yüzeyi gibi kapalı (sonlu) ve küresel bir uzay geometrisine sahip olduğu anlamına gelir. Benzer şekilde negatif eğrilik, açık ve hiperbolik (at eğerini andıran) bir geometriye karşılık gelirken, eğrilik sıfır oluşu düz bir evreni ifade eder.

2. Standart Kozmolojik Modeldeki Uyuşmazlıklar

Standart Kozmolojik Modelin çıkarımlarının evrenin gözlemlenebilen bölümüyle genel bir tutarlılık gösterdiği söylenebilirse de, modelin gözlemlerle uyumsuzluk yaşadığı noktalar da vardır. Günümüzde kozmoloji araştırmalarının önemli kısmının odağını oluşturan bu uyumsuzlıklardan bir kısmı kozmik şişme (enflasyon) modeli gibi kuramsal yamalarla çözüme kavuşturulabilirken, kimisi için kuramsal bir çözüm henüz bulunamamıştır. Bunlara kısaca değinelim.

2.1. Hubble sabitine dair uyumsuzluklar

CMB'ye bakıldığında, evrenin erken dönemlerinde oldukça düzgün bir ışıma dağılımına sahip olduğu görülse de, bu dağılımın tamamen homojen olduğu söylenemez; içerisinde ilkel dalgalanmalar barındırır. Bugün gökadalardan ve büyük ölçekli yapıların oluşabilmesi bu dalgalanmaların neden olduğu kümeleşmeler sayesinde olmuştur. CMB'de görülen bu ilkel dalgalanmaların boyutu bize evrenin erken dönemlerindeki genişleme hızını verir. Bu bilgi Standart Kozmolojik Modele yerleştirilip, bir anlamda zaman ileri doğru sarılarak, bugünkü kozmik genişleme hızı, yani Hubble sabiti ve evrenin genişleme tarihi hakkında tahminde bulunulabilir. Dolayısıyla, bahsi geçen dalgalanmaların boyutunun hassas bir şekilde ölçülmesi önemlidir.

Genellikle mikrodalga tayftaki bu tarz hassas ölçümler, atmosferin bloke edici etkisini ortadan kaldırmak için uzay ortamında yapılır. Bugün mikrodalga ve kızılötesi tayfta en yüksek ölçüm hassasiyetine sahip uzay teleskoplarından olan Planck uydusu ile yapılan 2020 tarihli son CMB gözlemlerine dayanılarak, Hubble sabitinin değerinin 66.9 ila 67.9 km/s/Mpc¹¹, arasında olduğu tahmin ediliyor. Buna ek olarak, 2020 Aralık ayında Şili'nin kuzeyindeki Atacama Kozmoloji Teleskopu (ACT) ile CMB'deki polarizasyonun ölçeği (Hubble sabitine dair bilgi edinmenin bir yolu da polarizasyon) şimdiye kadarki en hassas şekilde ölçümlendi ve Hubble sabitinin değerinin Planck'ınkiyle uyumlu olarak 66.4 ila 69.4 km/s/Mpc arasında olduğu tespit edildi. Buradan, evrenin kuramdaki Büyük Patlama tekilliğinden günümüze yaklaşık 13,77 milyar yıldır genişlediği hesaplanıyor (Choi ve ark., 2020).

Ancak evrenin genişleme hızını ölçmenin başka yolları da var; bunlardan en öne çıkanı uzaktaki 1A tipi süpernovaların¹² (SN1A) hız ve uzaklık ölçümlerine dayanıyor. Bu gözlemler CMB ölçümlerinin aksine, evrenin yakın geçmişine dair direkt gözlemler olma niteliği taşıyor. Sorun şu ki, iki yöntemin verdiği sonuçlar birbirleriyle

tutarsızlık gösteriyor. SN1A baz alındığında CMB'ye göre daha büyük (71.6 ila 74.4 km/s/Mpc aralığında) bir Hubble sabiti bulunuyor. Yani eğer süpernovalara dayanan yöntemi doğru kabul edersek, evrenimiz CMB'nin öngördüğüne göre daha hızlı genişliyor ve daha genç. Bu uyumsuzluğun Standart Kozmolojik Modele için bir sorun olabileceği olasılıklar arasında.

2.2. Kozmik şişme ile çözülmeye çalışılan meseleler: Ufuk problemi, ince ayarlı düzlük ve kayıp manyetik monopoller

CMB'nin oldukça düzgün bir dağılıma sahip olduğundan bahsettik. Bu derece düzgün bir sıcaklık dağılımının sağlanabilmesi için CMB'nin üzerindeki herhangi iki uzak bölgenin ilişki içerisinde (diğer bir deyişle nedensel bağlantılı) olması gereklidir. Bu durum kapalı bir kaptaki karıştırılan farklı sıcaklıklardaki gazların etkileşerek termodinamik dengeye ulaşmasına benzetilebilir. Eğer gazlar birbirlerinden izole edilirse gaz partiküllerinin etkileşimleri, yani birbirlerine sıcaklık bilgilerini iletmesi mümkün olmaz. Benzer şekilde CMB'nin ısı dengeye ulaşabilmesi için farklı bölgelerindeki fotonların ışık hızında hareket ederek birbirlerine ulaşarak etkileşime girecek yeterli süreye sahip olmaları gerekir. Halbuki, yapılan ölçümler kozmik genişleme sırasında CMB üzerindeki birbirine uzak noktaların etkileşime girebilmeleri için yeterli süre olmadığını ortaya koyuyor; CMB üzerindeki mesafeler ışık hızında bilgiyi iletmek için çok uzun. Ufuk problemi ismiyle bilinen bu durum gözlemlenen homojen sıcaklık dağılımıyla çelişmekte.

Diğer bir problem ise Birleşik Alan Teorilerinin (Grand Unified Theories) öngördüğü üzere, evrenin çok sıcak olduğu erken dönemlerinde oluşmuş olması gereken manyetik monopollerin (tek kutupların) bugüne kadar gözlenememiş olması. Bilindiği üzere doğada gözlemleyebildiğimiz tüm manyetik malzemeler çift kutuplu, yani dipol olma özelliği taşır. Halbuki Standart Kozmolojik Modele göre evrenin erken dönemleri, günümüze kadar varlığını sürdürebilecek kadar stabil yapıda manyetik monopollerin oluşmasına izin verecek şartlara sahipti (Carrigan ve Trower, 1983), dolayısıyla manyetik monopollerin varlığına ilişkin gözlemsel bir kanıt bulunamaması Standart Kozmolojik Modelin kendi başına açıklayamadığı bir durumdur.

Son olarak, Standart Kozmolojik Modelin benimsediği evrendeki enerji bütçesine göre, evrenin enerji yoğunluğu (Ω), alabileceği bütün olası değerler içerisinde evrenin geometrik olarak düz olmasını sağlayacak kritik denge değerine (Ω -kritik) hayli yakın çıkar. Model üzerinden zaman geriye doğru sarılarak evrenin erken dönemlerine gidildikçe bu yoğunluk değeri kritik değere giderek daha yüksek bir hassasiyetle yakınsar. Günümüzde Ω ile kritik değer arasındaki fark 10^{-3} mertebesinde iken, büyük patlamanın ertesindeki ilk saniyede bu fark 10^{-16} mertebesine kadar düşer (Guth, 2018). Kritik yoğunluktan ufak bir sapmanın evrenin geometrisini açık veya kapalı yapabileceği göz önünde bulundurulunca kritik enerji değerine bu derece hassas

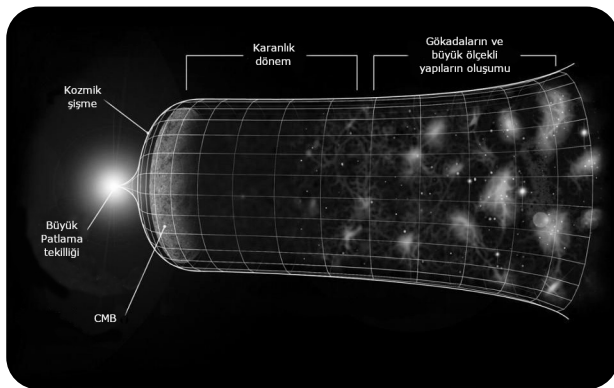
11 Megaparsek (Mpc) bir astronomik uzaklık birimidir. 1 parsek 3.26 ışık yılına, yani yaklaşık 30.9 trilyon kilometreye karşılık gelir. Megaparsek ise bir milyon parseği ifade eder. Dikkat edilirse Hubble sabitindeki uzaklık birimleri birbirini götürdüğünden, Hubble sabiti 1/s birimiyle de yazılabilir. Ancak görsel olarak kolaylık sağladığından literatürde km/s/Mpc biçiminde gösterilir.

12 1A tipi süpernovalar birbirlerine yakın kütlelere sahip ve dolayısıyla benzer evrimsel süreçlerden geçen beyaz cücelerin patlamasıyla oluştuklarından ışıma güçleri tahmin edilebiliyor. Bu bilgi, süpernovanın ölçülen ısımlarıyla karşılaştırılarak uzaklık tespiti yapılabilir.

bir yakınsama, ortada bir ince ayar problemi olduğu izlenimi veriyor. Evrenin böyle hassas bir dengede bulunmasını gerektirecek bir durum olmadığından Standart Kozmolojik Model kendi başına bu durumu açıklamakta yetersiz kalıyor.

Bahsi geçen sorunların çözümünde genel kabul gören yaklaşım, 1980'li yıllarda Alan Guth, Andrei Linde ve Aleksey Starobinskiy tarafından geliştirilen kozmik şişme (enflasyon) modelidir. Kozmik şişme modeline göre evren çok erken dönemlerinde üstel bir şekilde şişerek, o zamanki boyutlarının en az 10^{26} katına (bu değer farklı şişme modellerine göre değişiklik göstermektedir) kadar genişlemiştir. Model, neredeyse anlık olan bu üstel şişmenin Büyük Patlama tekilliğinden 10^{-36} ila 10^{-35} saniye sonra başlayıp 10^{-33} ila 10^{-32} saniyelere kadar sürdüğünü öngörmektedir. Üstel şişme dönemini takiben, evren genişlemesini daha yavaş hızlarda günümüze değin sürdürmüştür. Sıklıkla Standart Kozmolojik Modelin bir uzantısı olarak ele alınan şişme modeli, esasen ilk olarak manyetik monopol problemini çözmek için ortaya atılmış olmakla birlikte yukarıda değinilen diğer problemleri de çözümlediği anlaşılmıştır. Genel tabloya şişme eklendiğinde ufuk problemi ortadan kalkar çünkü kozmik şişme öncesi evrenin çok daha küçük bir hacme sıkışmış olması gerekir. Bu durumda şişme öncesi CMB üzerindeki gözlemlenen tüm bölgeler birbirleri ile etkileşime girme imkanı bulurlar. Evrenin hacminin kısa süre içerisinde devasa miktarda genişlemesi, erken dönemlerde oluşmuş olabilecek manyetik monopollerin evrene oldukça seyrek bir şekilde dağılmasına neden olarak gözlenebilme ihtimallerini çok azaltmıştır. Bu şekilde neden manyetik monopoller gözlemlenemiyor olduğumuza bir açıklama getirilmiş olur. Son olarak şişen evrende enerji yoğunluğunun ezelden ebede kritik yoğunluk değerine hassas bir şekilde bağlı olması gerekliliği de ortadan kalkar. Evren erken zamanlarında eğri geometride dahi olsa kozmik şişme bu eğriliği düzelterek evrenin düz olmasını sağlayacaktır (Guth, 2018).

Kısacası, kozmik şişme kuramı, Standart Kozmolojik Modelin evren senaryosunu tutarlı hale getirmek için geliştirilmiş kuramsal bir yama işlevi görür. Kozmik



Şekil 3. Kozmik şişmeyi içeren kozmolojinin evren tasviri (Faucher-Giguère, Lidz ve Hernquist 2008).

şişme modelini destekleyecek direkt gözlemsel kanıtlar bulunmamakla birlikte, işlevselliğinden dolayı Standart Kozmolojik Modelin bir parçası olarak araştırmaların odağında yer alır.

2.3. Hipotetik karanlık maddenin bulunamayışı

Standart Kozmolojik Modelin en büyük eksikliklerinden biri 'karanlık' olarak ifade edilen ve bir anlamda modelin gözlemlerle uyumlu olmasını sağlayan bölümünü açıklamakta yetersiz kalışıdır. Karanlık madde direkt olarak gözlemlenemediği için, eğer gerçekten varsa baryonik madde (bildiğimizi sıradan madde) ve ısıma ile kütleçekimsel etkileşim hariç hiç etkileşime girmemesi (veya çok çok az girmesi) gerekir. Bilindik madde ile etkileşimi kısıtlı olduğu gibi, evrenin erken dönemlerinde elementlerin oluşum sürecine de katılmadığı kabul edilir (Copi, Schramm ve Turner, 1994), dolayısıyla varlığına dair tek işaret yukarıda da değindiğimiz gibi kütleçekim etkisidir.

Kayıp karanlık madde sorununun çözümü için en çok destek gören yaklaşım, hem Standart Kozmolojik Modelin beklentilerine cevap verecek hem de temel korunum yasalarıyla tutarlı hipotetik parçacıkların varlığına dayanmaktadır. Bugün, modelin ihtiyaç duyduğu karanlık maddenin bu sıra dışı özelliklerini karşılayacağı düşünülen bir dizi hipotetik egzotik parçacık söz konusu. Geniş bir liste oluşturan bu kuramsal parçacıkların arasından en öne çıkanları WIMP (Weakly Interacting Massive Particles), Aksiyon ve steril nötrinolar olarak gösterilebilir. WIMP ve Aksiyon türü parçacıklar genellikle 'soğuk' karanlık madde adayı sınıfına girmektedir. Buradaki soğuk ifadesi sıcaklıktan çok hızı ifade etmekte; ilgili parçacığın evrende gökadalara oluşmaya başladığı dönemde rölativistik olmayan (daha yavaş) hızlarda hareket ettiği anlamına gelir. Benzer şekilde 'sıcak' ifadesi de aynı dönemde rölativistik hızlarda hareket eden parçacıklara karşılık gelir. Kuramsal olarak WIMP sınıfı parçacıklar tıpkı baryonik madde gibi evrenin erken dönemlerindeki termal süreçlerde oluşan ağır ve yavaş hareket eden parçacıkları tasvir ederken, Aksiyon ise esasında güçlü etkileşim kuramındaki yük-parite sorununu¹³ çözmek için ortaya atılmış kuramsal bir parçacıktır ve hipotetik karanlık maddenin en olası adaylarından biri olarak görülmektedir. Steril nötrinolar ise bilinen nötrinoların aksine madde ile zayıf etkileşime girmeyen, ağır ve yavaş kuramsal parçacıklara karşılık gelir. Steril nötrinolar genellikle soğuk ve sıcak sınıflandırılmasında arada bir yerde durduğundan, bu tarz parçacıklar 'ılık' parçacıklar olarak kategorize edilir.

Simülasyon bazlı çalışmalar (Libeskind ve ark., 2013), karanlık maddenin 'sıcak' parçacıklardan meydana gelmesi durumunda evrende önce (bugün gökada kümelerine karşılık gelen) büyük yoğunluk topaklanmalarının oluştuğu ve sonradan bu topaklanmaların kendi içlerinde daha ufak ölçekli kümeleşmelere giderek

¹³ Bir parçacık antiparçacığı ile değiş-tokuş edildiğinde ve uzaysal koordinatları ters çevrildiğinde fizik kurallarının aynı kalması kuralının ihlali.

gökadaları oluşturduğuna işaret ediyor.¹⁴ Bu durumda gökadaların gözlemlerimizle çelişecek şekilde evrenin çok daha geç bir döneminde oluşması sorunu doğuyor. Karanlık parçacıkların soğuk ya da ılık parçacıklardan meydana gelmesi durumunda ise gözlemlerle uyumlu şekilde önce gökadalar, daha sonra gökada kümelerinin meydana geleceği hesaplanıyor. Dolayısıyla bugün deneye dayalı karanlık madde araştırmalarının odağını büyük ölçüde soğuk ve ılık karanlık madde varsayımı oluşturuyor. Ancak bu parçacık temelli karanlık madde adaylarından hiçbiri bu zamana kadar deney ortamında gözlenmedi. Dolayısıyla kayıp karanlık madde sorunu Standart Kozmolojik Modelin en temel sorunlarından biri olmayı sürdürüyor.

Diğer yandan, astronomik gözlemlerin işaret ettiği fazladan kütleçekim etkisini üzerine yıkacağımız görünmez parçacıklar aramak yerine, kütleçekim kuramını (yani Genel Göreliliği) yeniden düzenleyerek karanlık madde varsayımını tamamen ortadan kaldırma arayışları da sürmektedir. Bu yaklaşımı alternatif kozmoloji modelleri bölümünde ayrıntılı şekilde inceleyeceğiz.

STANDART KOZMOLOJİNİN YÖNTESEL ELEŞTİRİSİ

Batlamyus modeli, evreni merkezinde Dünya'nın bulunduğu ve çevresinde Güneş'in, Ay'ın ve diğer gezegenlerin döndüğü bir betimlemeye sahipti. Ancak bu dönemin şekli ve mekanı yapılan gözlemler sonucunda çembersel olandan sapıyordu. Özellikle gezegenlerin gökyüzünde çizdikleri geri dönüşlü yollarının tam çembersel olmadığı aşikardı. Bu nedenle "çembersel dönüş" paradigmasının çembersel bir yörüngede dönen bir merkezin çevresinde dönen dış çembersel bir yörünge geliştirmesi gerekmişti. Batlamyus modeli elbette ortaya çıkışından itibaren bu "dış çember" (epicycle) kavramına dayanıyordu. Ancak modele bin yıldan uzun dayanıklılığı getiren özelliği, gözlemlerin ayrıntılanması ile gün geçtikçe artan gerçeklerle uyuşmama durumunun dış çemberin üzerine oturtulan başka bir dış çemberle ince ayar yapılarak giderilebilmesi olmuştur. Burada dikkat çekici nokta, bu ince ayar faaliyetinin arkasındaki felsefi yaklaşımdır. Model evrene uymadığı oranda farklı merkez ve çapta çemberlerle genişletilip daha uygun hale getirilirken yakalanan "gerçekliğin daha sadık bir betimlemesi" gibi görünüyor. Ancak bu tür ayarlamalar ad hoc yamalardan öteye gitmediği oranda modelin sağlamlığını sorgulatıyor.

Tam burada bilimsel faaliyetin sadakat aranışından ibaret olup olmadığı bir daha sorulmalıdır. Günümüz fiziği evrenin dokusuna ve yapısına dair önemli ipuçları biriktirmiş ve evrenin betimlemesi konusunda her gün bazı köşeleri/ayrıntıları düzeltir görünmektedir. Ancak bu, modelin karmaşıklığını artırma pahasına olmaktadır. Yani bilim diyalektik yöntemden uzaklaştıkça soyutlamanın frenine basıp bir olgular sıralamasına dönüş-

mektedir.

Burada bir de sıklıkla görmezden gelinen aşikar soruna değinmek gerekir. Evrenin yapıtaşlarına dair elimizdeki teori (kuantum fiziği), evrenin gezegenler ve gökadalar düzeyinde ele alınışı olan Genel Görelilik ile birleştirilememiştir. Yani bazı olgulara bakarken yaptığımız açıklamalar, başka bazı olguların açıklamaları ile açıkça çelişmektedir.

Son iki paragrafta özetlenen sorunlar birlikte ele alındığında var olan teorilere yamalar ve revizyonlar yapıp kurtarma girişimlerinin bilimsel yöntem açısından sorunlu olduğu, makul bir çözümün mutlaka kuantum kuramı ve kütleçekimini içerip açacak bir kurama eşdeğer gelişkinlikte olması gerektiği görülür. Yani artık ihtiyaç tanımı modele yapılabilecek yamalardan ziyade modelde devrimci bir dönüşüm beklentisi olarak güncellenmelidir. Yamalar yapılmaya devam edebilir, ancak bu dönüşüm beklentisi bilim insanları için çok daha ufuk açıcı olacaktır.

MAKUL BİR KOZMOLOJİDEN NELER BEKLEMELİYİZ?

Makul bir kozmolojinin nasıl olacağından daha ziyade gelişim sürecinin nasıl olması gerektiği, yani sağlıklı bir kozmolojinin nasıl gelişeceği, yani yöntem üzerinde durulmalı. Bilimsel pratiğin tüm gücü yüzyıllara yayılan birikimindedir. Ancak yöntemsel boşluklar birikimin yerinde saymasına da yol açabilir.

Ancak bu bir kozmolojinin işlevini ve sağlaması gereken bilimsel kıstasları önemsiz kılmıyor. Bir kozmolojinin statik resminin neye benzemesi gerektiği tarihsel bağlamından ve içinde şekillendiği toplumsal koşullardan kopartılamaz. Ancak günümüz koşullarında bir bilimsel yaklaşımın nasıl olması gerektiği konusunda gelişkin bir fikre sahibiz. Makul bir kozmolojinin günümüz biliminin gelişkinliğinde sağlaması gereken kriterler vardır.

21. Yüzyılda bilimin örneğin nedenselliği veya nesnelliği dışlayan yaklaşımlar geliştiren odakların etkisinden arındırılması gerekir. Özellikle kozmolojide maddenin korunumunun el çabukluğuyla ihmal edilmesi, yine gericiliğin bir hamlesi olarak gündemdedir. Özellikle ana akım medyanın rüzgarı ile bilimin üzerine doğru ittirilen "evrenin başlangıcı" ve "tanrı parçacığı" gibi çıkışların arkasındaki deist motivasyonların bilim insanları tarafından sessizlikle karşılanması ve bilim topluluğunun bu tür çıkışlar karşısında geri çekilme alışkanlığı kazanması maalesef bilimsel faaliyetin üzerindeki ideolojik hegemonyanın göstergeleridir. Oysa bilimsel faaliyetin geçtiğimiz yüzyılların bazı temel kazanımlarından geri düşülmesine bilim topluluğu bir direnç geliştirmelidir.

Bu her ne kadar başlı başına bir çalışma konusu olsa da bu yazıda en azından kozmoloji konusunda geri düşülmemesi gereken en temel konuların bir listesine de yer vermeyi yararlı bulduk:

¹⁴ Bunun temel sebebi, sıcak karanlık madde parçacıklarının nispeten yüksek hızları sayesinde gökada ölçeğindeki kütleçekim alanlarının etkisinden kaçabilmesidir.

- a. Materyalizm. Bizim dışımızda nesnel olarak var olan ve var olmak için bizim bilincimize gereksinim duymayan her şey maddidir ve “madde” bu varlıkların tamamına denir. Bilimsel faaliyet maddenin ve deviniminin kavranması faaliyettir. Buraya öznel idealizm, nesnel idealizm ve “evren dışı” güçlerin üzerinden açıklamalar geliştirilmesi bilimsel camianın söz konusu yaklaşımları bilim dışı olarak dışlamasını hak eder ve bu, bilim insanlarının bir sorumluluğudur.
- b. Nesnellik. Madde, bizim bilincimizin bir sonucu değil, biz yokken de kendi nedenselliğine sahip bir akış içindedir. Olguların açıklanmasında olgulara bilinç atfeden veya bilincimizle ilişkilendiren yaklaşımlar ne kadar bilimsel formüllerin arkasına saklansalar da bilimsel değildir. (Materyalizm ve Nesnellik birbirini destekleyen yaklaşımlardır. İlki ontolojik maddeyi neden olarak öne koyarken ikincisi epistemolojik olarak açıklamaların bilince dayandırılmasını karşısına alır.)
- c. Nedensellik. Bilimsel faaliyet olguları nedensellik zinciri içine yerleştirir. Nedenselliği ihlal eden yaklaşımlar tanım gereği bilim dışıdır. İçerme-aşma ilişkisi. Yüzyıllardır süregelen bilimsel birikim, geçmiş bilgilerin içerilip aşılmasıyla yeni bakışlara alan açmıştır. Var olan bilimin inkar edilmesi kadar, bilimsel birikimin açıklayamadığı olguların biriktiği durumlarda kabuk değişimine direnmek de gericedir.
- d. Maddenin korunumu. Maddenin yoktan var veya vardan yok olamayacağı kabulünün ihlali bilimsel birikimin kolay kabullenemeyeceği bir noktadır. Bu noktaya gereksinim duyan teorilerin de buna dair anlamlı açıklamalarının olması gerekir.
- e. Benzer şekilde maddenin öncelenmesi, ya da teknik olarak uzay-zamanı maddenin şekillendirmesi de önemli bir kazanımdır. Bu kazanımdan vazgeçmek de ancak büyük başka kazanımlar için kabul edilebilir.

STANDART KOZMOLOJİK MODELİN MODİFİKASYONLARI VE ALTERNATİF MODELLER

1. Standart Modelin Modifikasyonları

1.1. Sicim (string) kuramı

Sicim kuramının temelini standart parçacık fiziğindeki noktasal parçacıkların yerini alan, iplik şeklinde 1 boyutlu yapılar olarak tariflenen “sicim”ler oluşturuyor. Bu ipliksi yapıdaki sicimler çok küçük (yaklaşık olarak Planck boyutlarında) olmak zorundadır. Belirli enerjilere sahip sicimlerin belirli frekanslarda titreşmesi farklı parçacıklara karşılık gelmektedir. Sicimlerin enerjilerinin bu şekilde belirli kesikli değerlerde olması kuan-

tum fiziği ile arasında bağlantı kurulmasını da sağlıyor. Kuramda kütleçekim sicimlerin yaptığı salınımların çekim etkisini yaratabileceği fikri ile sağlanıyor ve bunun doğal bir sonucu olarak model, kütleçekim kuvvetinin taşıyıcısı olan hipotetik graviton parçacığının varlığına işaret ediyor. Bu açıdan Sicim Kuramı bir kuantum-kütleçekim modeli oluşturma girişimi olarak görülebilir.

Theodor Kaluza ve Oskar Klein tarafından 1920 yılında ortaya atılan fikir 5 boyutlu bir uzay-zaman tasviri ile kütleçekimin davranışının bizim evrenimize benzer şekilde açıklanabileceğini savunuyordu. Bu sayede 4 boyutta (zamanı da içeren 3+1 boyuttan bahsediliyor) kütleçekimin elektromanyetik kuvvete oranla neden zayıf bir kuvvet olduğu açıklanabiliyordu. Ancak önerilen bu ekstra boyutun gözlemlenemiyor oluşu sebebiyle sıkışmış (çok küçük, kompakt) hâlde bulunabileceği düşünülmüştür. Kaluza-Klein modelindeki “sıkışmış boyut” fikri günümüz sicim kuramlarına da temel oluşturmıştır.

Günümüz sicim kuramlarında dört temel kuvvetin evrenin erken dönemlerinde birbiriyle etkileşen sicimler aracılığıyla ortaya çıkabildiği varsayımından yola çıkarak kütleçekim ile diğer temel kuvvetlerin birleştirilebileceği bir yol aranıyor. Oluşturulan modellerde karşılaşılan anomaliler ekstra boyutlar eklenerek ya da çeşitli modifikasyonlar uygulanarak giderilebiliyor (Tong, 2009; Mukhi, 2011; Bachas ve Troost, 2006).

Neticede parçacık fiziğinin Standart Modelinde yer alan her parçacığa karşılık süpersimetrik bir eşini gerekli kılan 10 boyutlu bir uzay-zaman yapısına ulaşıyor. Fazladan eklenen boyutların gerçekte var olup olmadığına dair gözlemsel bir kanıt olmadığı için bu boyutların çok küçük ve atom altı ölçeklere kadar sıkışmış durumda bulunduğu düşünülüyor. Aynı akıl yürütmeyle sicim kuramı belki de sonsuz sayıda, kuralları bizimkinden farklı işleyebilen evrenlerin varlığını öngörebiliyor. Bu da her defasında gözlem ve deneylerle uyuşacak şekilde kuramın modifiye edilebileceğine işaret ediyor. Bunun yanı sıra henüz LHC’de süpersimetriye dair bir ize rastlanmamış olması sicim kuramına olan şüpheleri artırıyor.

Sicim Kuramı’na dair deneysel çalışmalar devam ediyor olmasına karşın henüz deneysel bir kanıt bulunmamakta, dolayısıyla modelin şu an için sadece matematiksel çıkarımlar yoluyla kendi içerisinde tutarlı sonuçlar sunabildiği söylenebilir. Kuramda bahsedilen sıkışmış halde bulunan ekstra boyutların fiziksel karşılığının ne olduğu ise hâlâ anlaşılmayı bekleyen bir sorun olarak duruyor. Ayrıca gerçek dünyaya dair herkesin uzlaştığı bir sicim tanımı da bulunmuyor, bu konuda çalışan bilim insanlarının yaklaşımı çerçevesinde yeni boyutlar eklenebiliyor. Bu özelliği ile Sicim Kuramı bir kozmolojik modelden ziyade sıklıkla bir “oyuncak (toy) model” olarak görülmektedir.

1.2. Halka kuantum kütleçekim (Loop Quantum Gravity- LQG)

Abhay Ashtekar tarafından 1986'da ortaya atılan fikir, temelde Genel Görelilik Kuramını kuantize etmeyi, yani Genel Görelilik ile kuantum fiziği arasında bağlantı kurmayı amaçlıyor. Uzay-zamanın birbiriyle hiç temas etmeyen ancak birbiriyle etkileşim kurabilen ve "hiçlik"te yüzen enerji halkalarından oluştuğunu varsayıyor. Bu enerji halkalarının Planck ölçeklerinde¹⁵ yapılar olduğunu, yani uzay-zamanın kuantalanmış olduğunu düşünüyor. Kuantum mekaniğinde elektronun kesikli enerji seviyelerinde bulunması gibi uzay-zamanın da kesikli enerji halkalarından oluştuğunu söylüyor (Rovelli, 1998; Tate, 2010).

Bu yöntemin iki temel dayanak noktası bulunuyor; arka plan bağımsızlığı ve diffeomorfizm¹⁶ değişmezliği (Ashtekar, 2013). Ayrıntılarına bu yazıda giremeyeceğimiz bahsi geçen kavramlar Genel Göreliliğin kuantalanabilmesi için gerekli görülen koşullar olarak ele alınıyor.

LQG'ye göre evren sonlu büyüklükteki (Planck boyutundaki) yapılardan oluşmaktadır ve zaman da kesintili akmaktadır. Planck zamanı ölçülebilecek en kısa zaman dilimidir, daha küçük zaman aralıkları bulunmamaktadır. Ancak uzay kuantalanmış enerji halkalarıyla ifade edilerek kesikli hale getirilirken aynı yaklaşım zamana uygulanamıyor. Dolayısıyla, LQG çerçevesinde bu tarz arayışlar sürmekle birlikte uzay-zaman henüz bütünüyle kuantize edilebilmiş değil. Bu da LQG modeli için Görelilik Kuramı ile kuantum fiziğinin hâlâ tam anlamıyla birleştirilemediği anlamına geliyor. Henüz doğrudan veya dolaylı bir deneysel doğrulaması bulunmayan LQG kuramdan ziyade bir yöntem olarak ele alınabilir.

1.3. Modifiye edilmiş newton dinamiği (Modified Newton Dynamics - MOND)

ΛCDM Standart Kozmolojik Model olarak en çok kabul gören model olmasına rağmen gökadalarda gözlemlenen madde miktarını ve gökadalardan dinamiklerini açıklamakta yetersiz kalıyor; madde miktarındaki tutarsızlıkları açıklamak için "karanlık madde"ye, manyetik monopollerin bulunmaması, düzlük problemi gibi sorunlarda ise "enflasyon"a ihtiyaç duyuyordu. Teoride yapılan bir takım hipotetik kabuller (karanlık madde, karanlık enerji, enflasyon) ile gözlemler arasındaki tutarsızlıklar giderilmeye çalışılıyor olsa da bu tutarsızlıkları karanlık fenomenlere ihtiyaç duymadan kütleçekim kuramını modifiye ederek açıklamaya çalışan modeller de mevcut.

Bu modellerden biri olan MOND gözlemlenen madde miktarının doğru, ancak kütleçekim kuramının gökada

ölçeklerinde hatalı olduğunu söylüyor. Aynı zamanda gökadalardaki madde miktarının bir sonucu olan dönme eğrilerinin düzleşmesini açıklarken karanlık maddeyi gerekli kılmıyor. İlk olarak 1981 yılında Mordheai Milgrom tarafından ortaya atılan model temelde gökadalarda gözlenen verileri dikkate alarak Newton dinamiklerini yeniden yorumluyor. Bunun neticesinde Samanyolu'nun merkezinden uzaktaki gök cisimleri için standart kütleçekim ivmesi g 'yi sabit değil, cisimlerin ivmesi ve bir evrensel sabite bağlı olarak ele alıyor ($a^2/a_0 = g$)¹⁷ (Milgrom, 2014; Milgrom, 1983).

MOND yalnızca $a/a_0 < 1$ olduğu durumlar için (küçük ivmeler ölçeğinde) Newton dinamiğinde bir modifikasyon yapılmasını gerekli kılıyor. Aksi durumlarda ise klasik anlamdaki denklemler kullanılabilir. Örneğin Dünya'nın Güneş etrafındaki dönüşündeki ivmelenmesi'dan milyon kat büyük olduğu için klasik Newton mekaniği ile çalışılabilir. Ancak Samanyolu gökadasının merkezinden uzaklaştıkça yıldızların (merkez etrafındaki) yörüngeleri için klasik denklemler artık doğru sonuçlar vermemeye başlıyor (Bekenstein, 2019, sf. 120).

MOND aynı zamanda spiral bir gökadanın görünen kütlesi ile dönme hızı arasındaki bağlantıya dair de bir yaklaşım içeriyor ($v^4 = G a_0 M$). Bu yaklaşımını spiral gökadalardaki küçük yıldızların kızılaltı ışıma güçleri ile kütleleri arasındaki ilişkinin doğrusal olması gerektiğini söyleyen Tully-Fisher yasası¹⁸ ile ilişkilendirmeye çalışıyor ($L \sim v^4/G a_0$) (Bekenstein, 2019, sf. 122). Milgrom bu sayede MOND'un gökada kümeleri gözlemlerindeki kütle tutarsızlıklarını büyük ölçüde çözdüğünü söylüyor (Milgrom, 2014). MOND gökada dinamiklerini ve gökada içlerinde yıldızların hareketini karanlık madde yorumlarından daha iyi şekilde açıklayabiliyor olmasına karşın kütleçekimsel merceklenme (kütleçekimin ışığı saptırması), evrenin genişlemesi gibi kavramlara henüz cevap verebilmiş değil.

MOND'un genel bir kütleçekim kuramını içeren tamamlanmış rölativistik bir modeli bulunmuyor. Ancak yine de "sonlu genişleyen küresel bir bölge"yi ele alarak MOND evreni hakkında sonuçlar çıkarılabileceği düşünülüyor. Newton dinamikleri için bu yaklaşıklığın kozmik ölçeklerde Fridman denklemine yol açtığı biliniyor. Bu konuda çalışma yapan R.H. Sanders, Newton'ın formülü yerine Milgrom'un formülünü kullanarak benzer bir yöntemle MOND kozmolojisinin geliştirilmesinin mümkün olabileceğini söylüyor. Evrenin enerji yoğunluğuna radyasyonun hâkim olduğu dönemden "madde"nin¹⁹ hâkim olduğu döneme geçildiğinde (bu, düşük yoğunluklu bir evrende oldukça geç olabilir) ise MOND kozmolojisinin standart kozmolojiden farklılaşacağını belirtiyor (Sanders, 1998).

15 Yaklaşık olarak Planck uzunluğu 10^{-35} m, Planck anı 10^{-43} s.

16 Uzay-zaman koordinat dönüşümleri ile ilgili bir kavram. Örneğin, düz geometri için iki nokta arasındaki en kısa çizgi doğru iken, Dünya gibi küresel yüzeyli yapılarda en kısa mesafe bir eğridir. Uçakların rotasının belirlenmesi için haritalardaki düz çizgiler diffeomorfizm dönüşümleri uygulanarak eğrilere dönüştürülmektedir. Benzer şekilde Genel Görelilikte kütlenin uzay-zamanı bükmesi olayının matematiksel olarak formüle edilmesi gerekir ve düz geometriden eğri geometriye geçiş bu dönüşümler ile sağlanır.

17 Burada a_0 Milgrom'un modelinde hesaplarıyla belirlemiş olduğu temel bir sabit olarak yer alıyor. $a_0 = 1.2 \times 10^{-10}$ m/s².

18 Tully-Fisher yasası özellikle uzaktaki gökadalardan elde edilen mesafeyi belirlemede kullanılan en güçlü yöntemlerden biri olarak biliniyor (Tully ve Fisher, 1977).

19 Baryonik ve karanlık madde

MOND fenomenlerini açıklamak için henüz gelişkin bir kozmoloji modeli oluşturulmadığı, ancak literatürde buna dair denemelerin mevcut olduğunu görüyoruz. Temel kanı gökadalara ve gökada kümeleri ölçeğinde Newton dinamiklerinde böylesine radikal bir değişikliği içeren modelin Büyük Patlama'nın öngörülerıyla tutarlı olmayan alışılmadık bir kozmolojiye yol açacağı yönünde.

Örneğin, MOND'un işlediği karanlık madde içermeyen bir evreni simüle etmeyi amaçlayan bir çalışmada (Wittenburg ve ark., 2020) Büyük Patlama'dan 100-300 bin yıl sonra olduğu düşünülen ilk yıldız ve gökadalara ortaya çıkışı ve nasıl evrildiği incelenmiş, elde edilen sonuçlarda gökadalardaki yıldızların dağılımının ve hızının bugünkü görünen evren ile uyduğu görülmüş. Ancak çalışmayı yapan ekip "bu simülasyonların yalnızca bir ilk adım" olduğunu ve MOND'un geçerli bir kuram olabilmesi için daha karmaşık etkilerin de hesaba katılmasını bir gereklilik olduğunu söylüyor (Williams, 2020). (Her zaman MOND ile uyumlu çalışmalar elde edilmiyor. Literatürde MOND'un tahminleriyle gözlemlerin uyuşmadığını söyleyen çalışmalar da mevcut (Rodrigues ve ark., 2018).)

MOND'un rölativistik bir yorumunun olmaması da onun geniş çevrelerce kabul görmesinin önünde bir engeldi. Bu nedenle modeli Genel Görelilik ile uyumlu hale getirecek yeni yorumlara ihtiyaç duyuluyordu. Ancak günümüzde MOND'dan yola çıkarak geliştirilmiş birçok rölativistik model mevcut. TeVeS, Einstein-Esir teorilerinin MOND uyarlamaları (MOND adaptations of Einstein-Aether theories), Bimetrik MOND, Yerel olmayan metrik teorileri (Nonlocal single-metric theories), Çift-kutuplu Karanlık Madde (Dipolar Dark Matter) bilinen modellerden birkaçı (Milgrom, 2014). MOND ve onun rölativistik modifikasyonları henüz bütünlüklü bir kozmolojik evren modeli olacak gelişimi gösterememiş olsalar da, bu yöndeki dikkate değer çalışmalar daha kapsamlı bir kütleçekim kuramı oluşturmak için başlangıç kabul edilebilir.

1.4. TeVeS kütleçekim

MOND'un ilk rölativistik modellemesi olan TeVeS (Tensor Vector Scalar), 2014 yılında Bekenstein tarafından teoriye - uzay-zamanın metrik tensörüne ek olarak - bir skaler alan ve bir de zamana bağlı vektörel alan eklenerek oluşturuluyor²⁰. TeVeS'in gökadalara dönme eğrilerinin düzleşmesinin yanı sıra MOND'un başlangıçta açıklamakta yetersiz kaldığı kütleçekimsel mercekleşmeyi de açıklayabildiği söyleniyor (Bekenstein, 2004).

TeVeS için Einstein'ın kütleçekim teorisine benzer bir kozmolojik model üretilebiliyor. Ancak TeVeS'in çözüm getiremediği problemler hâlâ mevcut. Bu problemler-

20 Bir skaler alan uzayın her noktasında sayısal bir karşılığı olan bir fonksiyon olarak ifade edilebilir. Belirli bir kuvvette ilişkili olduğunda potansiyel enerji (örneğin, kütleçekim potansiyeli) alanını ifade eder. Vektörel alan ise sayısal değerler yerine vektörlerden oluşur.

den en üst sıraya yazılması gereken modelin CMB gözlemleriyle olan çelişkisi olabilir (Skordis, 2009). Modelin yalnızca CMB gözlemlerinde değil; gökada kümeleri ve kütleçekimsel mercekleşme gözlemlerinde de açıklamakta yetersiz kaldığı noktalar olduğu görüldü. (2006 yılında gözlenen çarpışan iki gökada kümesinin (Kuşun gökada - Bullet galaxy) davranışı herhangi bir modifiye kütleçekim teorisi ile açıklanamıyor (Clowe ve ark., 2006).) Gözlemlerle olan tutarsızlıkları gidermek için ise TeVeS de "gözlemlenemeyen madde"ye ihtiyaç duyuyor ve bunun için henüz varlığı tespit edilememiş ağır nötrinolar (steril nötrino²¹) aday gösteriliyor (Chachian ve ark., 2014).

Tüm bu sorunlar giderildiği durumda ise oluşturulan modeli kuantize etme çabası Genel Görelilik Kuramında olduğu gibi TeVeS için de gerçekleşmesi gereken zor bir iş olarak önümüzde duruyor. Yine de kozmoloji alanında verilerin akışı günümüzde de devam ediyorken, TeVeS gibi teorilerin açıklanamayan/tespit edilemeyen kütle ve enerji problemlerinin bir alternatifi olarak daha fazla düşünülmesi evren anlayışımızı geliştirecek bir gereklilik olarak görünüyor.

1.5. f(R) kütleçekim ve diğer yüksek mertebeli terimler kuramları

f(R) Kütleçekim Kuramları aslında Einstein'ın Genel Göreliliğinin modifikasyonu olarak ele alınabilecek bir kuramlar sınıfına karşılık gelir. Bu kuramların ortak noktası, Genel Göreliliğin üzerine inşa edildiği Hilbert-Einstein aksiyonunun yeniden düzenlenmesiyle türetilmiş olmalarıdır. Orijinal Hilbert-Einstein aksiyonuna göre, kütleçekimsel alanı veren aksiyon Ricci eğrilik skaleri $(R)^{(22)}$ ile doğru orantılıdır. f(R) kuramlarında ise bu doğrusal ilişki bozularak, R yerine R'yi değişken olarak alan keyfi bir f(R) fonksiyonu konulur²³. Bu, bir anlamda Genel Göreliliği yeniden düzenlemenin en sade yoludur (De Felice ve Tsujikawa, 2010).

Aksiyonu bu şekilde değiştirmekteki temel motivasyon, aksiyona yerleştirilen uygun bir f(R) fonksiyonu ile karanlık madde ve enerjiye ihtiyaç duymaksızın ivmelenerek genişleyen ve evrendeki büyük ölçekli yapıların dinamiğinin gözlemlerle uyumlu olduğu bir model türetmektir. Bunu gerçekleştirme iddiasında olan farklı yaklaşımlar vardır. Örneğin, bunlardan en popülerlerinden olan metrik f(R) yaklaşımında, kütleçekimsel etkileşimi metrikle (ölçekle) ilişkilendiren yeni bir geometrik standart getirerek (diğer bir deyişle alan denklemleri metriğe göre şekillenen bir aksiyondan elde edilir) Standart Kozmolojik Modeldeki karanlık bölüm ortadan kaldırılmaya çalışılır (De Felice ve Tsujikawa, 2010). Aksiyon ve alan denklemleri düzenlenirken Ge-

21 Sadece kütleçekimle etkileşime giren, diğer 3 temel kuvvetle etkileşime girmeyen varsayımsal parçacıklar. Parçacık fiziğinin Standart Modelindeki nötrinolardan ayırmak için "steril nötrino" denmektedir.

22 Ricci eğrilik tensörü bir geometrik şeklin eğri uzayda iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi (jeodezik) kat ederken nasıl deforme olduğunu ifade eden matematiksel bir kavramdır. Ricci eğrilik skaleri ise Ricci tensöründen türetilen ve uzayın geometrik eğriliğinin bir ölçütüne karşılık gelen terimdir.

23 Bu durumda ancak $f(R)=R$ kabulü yapıldığında Genel Görelilik elde edilir.

nel Göreliliğin iyi sınanmış sonuçlarının da korunması amaçlanır.

Diğer bir yaklaşım ise Einstein-Hilbert aksiyonunun ilişkilendirildiği f fonksiyonunu R 'ye ek olan R 'nin türevlerine de bağlı kılmasıdır. Bu tarz kuramlar yüksek mertebeli terimler kuramları altında kategorize edilebilir. Bu kategoriye f fonksiyonunu oluştururken daha farklı parametreleri ve bunların kombinasyonlarını da hesaba katan (Örneğin, Ricci eğrilik tensörünü içeren terimler ve skaler alanlar) kuramlar da dahil edilebilir (Clifton ve ark., 2012). Bu girişimlerdeki amaç hem $f(R)$ kuramlarında olduğu gibi Genel Göreliliği karanlık madde ve enerji hipotezlerinden kurtarmak, hem de bunu yaparken doğabilecek kuramsal sorunları matematiksel olarak çözmektir. Bunun yanı sıra bir kuantum kütleçekim kuramının temelini oluşturma iddiası taşıyan girişimler de vardır. Ancak bu girişimler arasında kuantum ölçeğinden kozmolojik ölçeğe kadar tutarlı şekilde çalışan bütüncül bir model henüz elde edilememiştir.

1.6. İndüklenmiş kütleçekim (Induced Gravity)

Fizikçi Andrey Saharov'un 1967 yılında yayınladığı makalesinde (Sakharov, 2000) ortaya attığı hipotez kütleçekimin temel bir etkileşim olarak değil, kuantum salınımlarından ortaya çıkan bir etkileşme gibi düşünülebileceğini öne sürüyor. Temel parçacıkların kuantum salınımlarının çekim kuvvetini indükleyebildiğini²⁴, dolayısıyla kütleçekimin kuantumlanması gibi bir problemin olmaması gerektiğini savunuyor ve Genel Göreliliği kuantum alan teorisinden çıkarmayı öneriyor (Demir, 2021; Visser, 2002).

Saharov'un fikirlerindeki en önemli noktanın, bu senaryoda (modelde bahsedilen teknik detaylar sağlandıktan sonra) "ters kare yasası"nın ve Einstein'ın kütleçekim kuramının kolaylıkla türetilmesi olduğu söyleniyor (Visser, 2002).

Saharov'un kütleçekimi kuantum etkilerinden üretme fikrinden yola çıkarak oluşturulan farklı birçok model de mevcut. Entropik kütleçekim (Verlinde, 2011), dolanık (entanglement) kütleçekim (Raamsdonk, 2010), analog kütleçekim (Barcelo, 2011) bunlardan yalnızca birkaçı. (Weinberg-Witten teoremi üzerinden, hem Saharov'un modelinin hem de benzer fikirlerle kurulan modellerin mümkün olamayacağını gösterildiği çalışmalar da literatürde yer almakta (Weinberg ve Witten, 1980).)

2. Alternatif Modeller

2.1. Plazma evren modeli

²⁴ Cisimleri/atomları bir arada tutan kuvvet Van der Waals kuvveti olarak biliniyor. Cisimler bu etki sayesinde olduğu şekli alabiliyor. Örneğin, birbirinden ayrı bulunan yüksüz 2 atom birbirine yaklaştırıldığında eksi ve artı yükler uçlarda toplanıyor ve dipol meydana getiriyorlar, bu sayede iki atom arasında bir çekme kuvveti oluşuyor. Var olmayan bir çekim kuvveti birbirlerine yaklaştıklarında kuantum etkilerinden ortaya çıkıyormuş gibi düşünüyor. <https://www.youtube.com/watch?v=NESvHR1BXnc&t=2027s>

Alternatif bir model olarak değerlendirebileceğimiz "Plazma evren" modeli bir başlangıcı ve sonu olmayan, sonsuz süredir var olan bir evren tasvir ediyor. Modelin önemli özelliklerinden birisi Büyük Patlama'da bir problem olarak gördüğümüz, bildiğimiz fizik yasaları ile açıklayamadığımız "tekillik" kavramının yer almasıdır. Model maddenin "yoktan var, vardan yok olamayacağı" ilkesini sahiplenmekte, maddeye öncelik vermektedir. Ayrıca evrene bir başlangıç atfetmediği için Büyük Patlama modelindeki teolojik saldırılara da kapalıdır.

Plazma evren modeli ilk olarak Hannes Alfvén tarafından ortaya atılmış ve temelleri laboratuvarında yapılan plazma ve elektrik boşalma (discharging) deneylerinin gökada boyutlarına yükseltilebileceği fikrine dayanmaktadır (Alfvén, 1987b). Evrenin içinin yüksek sıcaklıklarda elektronlarını kaybederek iyonize²⁵ olmuş yoğun "plazma"²⁶ ile dolu olduğunu söyler. Evrendeki geniş plazma bölgelerinin yeryüzündeki plazma gibi davrandığı, plazmada meydana gelen manyetik etkileşmelerin/dalgaların da çok uzun süreler neticesinde evrenimizi oluşturduğu varsayılmaktadır. Yani evrenimizi şekillendiren büyük patlama modelindeki gibi kütleçekim etkisi değil elektromanyetizma olmuştur.

Alfvén plazmanın akım taşıyabildiğini keşettikten sonra, bu akımlar arasında bir çekim oluşabildiğini (aynı yönde akım taşıyan tellerin birbirini çekmesi gibi), ve herhangi bir akım kendini çevreleyecek bir manyetik alan oluşturacağı için plazmadaki akımların bu nedenle içlerine daha fazla plazma çekeceklerini ve "filaman" denilen birbirini çevreleyen/bükülmüş akım ve manyetik alanlara sahip bir tür "plazma ipi" oluşacağını söyler. Bunları önceleri laboratuvarında gözlemleyen Alfvén, aynı durumun uzayın herhangi bir bölgesinde de geçerli olabileceğini söyler. Ve bu filaman yapıların gökada ve bulutsu oluşumlarında rol alabileceğini söyler (Talbott, 2011; Parker, 2013).

Daha sonra 1960'larda Alfvén ve Oscar Klein tarafından ayrıntılandırılan modele göre gökadalardan birbirinden uzaklaşmıyor, yani evren genişlemiyor. Gözlenen kırmızıya kayma ise gökadalardan ve başka gök cisimlerinden gelen ışığın plazma tarafından soğurulmasıyla açıklanıyor. Erken evren zamanlarından gelen CMB ışıınının ise Büyük Patlama kalıntısı değil, elektromanyetik ivmelenmeden kaynaklandığını söylüyorlar.

Plazma evren modeli aslında "büyük patlama" denen olguyu farklı bir çerçevede içeriyor denebilir. Bu modele göre büyük patlama maddeyi ve uzay-zamanı yaratan bir olay olarak ele alınmaz. Enerji uzay-zaman içinde de sıkışıp ani patlamalara yol açabilir ve bu patlamalar

²⁵ Gaz halindeki maddeye ısı verildiğinde elektron atom çekirdeğinin çekiminden kurtulur ve atom bir eksi yük kaybetmiş olur. Yani yükü artmış, pozitif yüklenmiştir. Atom elektron kazandığı durumda ise negatif yüklü hale gelir. Bu şekilde pozitif veya negatif yüklenmiş atomlar "iyon", meydana gelen olay ise "iyonizasyon" olarak adlandırılır.

²⁶ İyon, elektron ve nötr atom bulutlarından oluşan yoğun madde.

plazmayı çok hızlı bir şekilde milyonlarca yıl genişletecek (Hubble'ın öngördüğü genişleme) güçte olabilirler (Daha büyük ölçeklerde güneş patlamaları gibi düşünülebilir.) (Hansson, 2019). Ayrıca model bizimkine benzer evrenlerin var olmuş olabileceğini, ancak evrenler arasındaki mesafe çok fazla olacağı için bunlarla haberleşmenin çok zor olacağını, onların ışığının bize ulaşana kadar evrenimizin yok olacağını öne sürer.

Alfven-Klein modeli Standart Kozmolojik Modelde yeterince açıklanamayan spiral gökada oluşumları (Alfvén, 1987a; Arp, 1986), gökadaların dönmeleri, madde-anti-madde simetrisinin kırılması gibi olguları daha iyi açıklayabilmesinin yanında Standart Kozmolojik Modelde sorun teşkil eden tekilik, enflasyon, karanlık madde, karanlık enerji gibi hipotetik kavramlara ihtiyaç duymadan tutarlı bir model oluşturulabilmesi açısından da önemli bir yerde durmakta, alternatif bir evren modeli olarak üzerine daha fazla düşünmeyi / odaklanmayı gerekli kılmaktadır.

Ancak görüldüğü üzere Standart Kozmolojik Model doğadaki dört temel kuvvetten birisi olan kütleçekim üzerinde yükselirken Plazma Kozmolojisi kütleçekim karşısında elektromanyetik etkileşimi öne çıkarmaktadır. Burada vurgulanması gereken nokta ise bütünlüklü ve sağlıklı çalışan bir kuramın inşası için bütün kuvvetlerin harmanlandığı bir modelin gerekliliğidir.

Plazma evren modeli plazmaya dair bilimsel gerçeklerle önemli oranda uyduğu, buna karşın Büyük Patlama modelinin maddenin korunumuna dair sorunlarından ve tekilik anomalisinden azade olduğu halde üzerinde yeterince çalışılmayan bir teori olmuş, bir iç tutarsızlık veya olgularla uyumsuzluktan ziyade ilgisizlikle boğulmuştur. Büyük Patlama modelinin daha fazla destek görmesinin önemli bir nedeni dinsel görüşlerle bir paralelliği olması gibi görünmektedir.

2.2. Konformal çevrimsel kozmoloji (Conformal Cyclic Cosmology)

Alternatif fikirlerden biri de Roger Penrose'un "konformal çevrimsel kozmoloji" fikridir. Bu fikir, evrenin bir nevi doğum - ölüm - yeniden doğum çevrimi içinde evrildiğini savunur. Penrose bu evrelere "aeon" adını vermektedir. Bir evrenin sonu, evrendeki tüm maddenin karadeliklerce yutulmasından sonra karadeliklerin Hawking radyasyonu ile tamamen buharlaşması şeklinde gelir. Bu noktada evren, "ne kadar büyük olduğunu" unuttur, zira evrende görelî büyüklük ölçekleri teşkil edecek hiçbir referans nesne kalmamış olur. Bu noktada, yeni bir büyük patlama, yani yeni bir doğum için bir zemin oluşur, ve yeniden doğum gerçekleştiğinde yeni bir evreye geçilmiş olur. Penrose'a göre, bir evreden bir sonrakine fiziksel sinyal göndermek de mümkündür ve Penrose, örneğin CMB radyasyonunda bir önceki evrenden izler bulunabileceği görüşünü değerlendirmiştir (Cartlidge, 2018; Tod, 2018).

Tabii ki Penrose'a itiraz edenler de vardır (örneğin Siegel, 2020). Konformal çevrimsel kozmoloji fikrinin henüz gözlemsel olarak desteklenmediğini ifade etmek gerekmektedir. Ancak alternatif fikirlerin ne gibi hususları dikkate alması gerektiğini gösteren, mevcut modern fizik bilgisi ile formüle edilmiş, teknik açıdan iyi tanımlı bir görüş olması nedeniyle değerlidir.

SONUÇ

Bu yazıda evrenin başı ve sonu gibi deistik göndermeler olan bir konudaki bilimsel çalışmaların hem yöntemsel sınırlarını çizmek, hem de etrafındaki tartışmaları özetlemeyi hedefledik. Özellikle "Büyük Patlama" savunusu etrafında şekillenen "yaratılış" efsaneleri ve deist propaganda bilimsellik görünümüne bürünüyor. Bilim insanları büyük çoğunlukla bu propagandaya gülüp geçiyor ve bilimsel faaliyetleri sırasında bunlara yaslanmıyorlar, ancak bu pasif tavırları ana akım medyanın gücünü de arkasına almış propaganda karşısında sessiz kalmaları ve alanı terk etmeleri şeklinde sonuçlanıyor.

Standart Kozmoloji ve özellikle "Büyük Patlama" şeklinde ifade edilen ve "evrenin başlangıcı" savunularına sahne oluşturan fiziksel alan, fonları ve pek çok bilim insanının çalışmasını üzerinde topluyor. Örneğin CERN, sıklıkla Büyük Patlamayı desteklemeyi hedefleyen çalışmalar yapıyor. Oysa hem çıkış noktası hem de vardığı sonuçlar açısından sorunlar biriktirmiş durumda. Bu durumdaki bir teorinin geliştirilmesi kadar içerilip aşılmasına çaba gösterilmesi de verimli olacaktır.

Genellikle bilim insanları teorinin başındaki "tekilik" durumunu bir anomali olarak görüp gelecekteki gelişmelerle bu durumun giderileceğini umarken deist yaklaşımlar bu bir kaşık suda fırtınalar koparıyor.

Parçacık fiziğindeki dalga parçacık dualitesinin evrenin kavranmasında önemli bir adım olduğuna dair pek çok gösterge var. Ancak burada kullanılan uzay modeli Minkowski uzayıdır ve Genel Göreliliğin eğimli olan Riemann uzayından farklıdır. Öte yandan özellikle büyük kütleli cisimler, büyük mesafeler ve hızlar için Genel Görelilik kadar, hatta ona yakın gelişkinlikte başka bir model yok. Bu iki model daha içinde yer aldıkları uzay düzeyinde uyumlulaştırılamıyor. Büyük Patlama fikri ayrıca maddenin korunumunu ihlal eden biçimde formüle ediliyor. Yine model içinde tekilik bir anomali olarak boy gösteriyor. Fizikçilerin önemli bir kısmı bunun bir zaaf olduğunun bilincinde olsa da modelin bir sonucu olarak göz yumuluyor. Son olarak model içindeki gözlemsel verilerle uyum yakalamak için konulmuş kozmik şişme gibi irili ufaklı pek çok yama kuramlar var ve model bunların eklektik bir bileşimi olarak karmaşılaşıyor.

Bütün bu zaaflardan kurtulunacak yeni bir fizik arayışına dair olan bu yazıda öncelikle biriken sorunların sergilenmesi denenmiştir. Bu sorunların yanı sıra yine çıkışın ne özellikler taşıması gerektiğine dair bir akıl

yürütmeye de yer verilmiştir. Bu yazının temel amacı problemi ortaya koymaktır. Problemin çözümü elbette bu yazının kapsamının ötesindedir.

KAYNAKLAR

- Alfvén, H. (1987). Comment on H. Arp "The Persistent Problem of Spiral Galaxies". KTH Royal Institute of Technology.
- Alfvén, H. (1987). Plasma Universe, *Physica Scripta*, 1987 (T18), 20-28.
- Angus, G. W. (2009). Are sterile neutrinos consistent with clusters, the CMB and MOND? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 394(1), 527-532.
- Arp, H. (1986). The persistent problem of spiral galaxies. *IEEE transactions on plasma science*, 14(6), 748-762.
- Ashtekar, A. (2013). Introduction to Loop Quantum Gravity and Cosmology. Calcagni G., Papantonopoulos L., Siopsis G., Tsamis N. (Editörler). *Quantum gravity and quantum cosmology. Lecture Notes in Physics*, 863, 31-56. Berlin: Springer. Doi: 978-3-642-33036-0_2.
- Bachas, C. ve Troost, J. (2006). Superstring theories. *Encyclopedia of Mathematical Physics*, 133-140. Doi: 10.1016/b0-12-512666-2/00362-x.
- Barceló, C., Liberati, S. ve Visser, M. (2011). Analogue gravity. *Living reviews in relativity*, 14(1), 1-159.
- Bekenstein, J. D. (2004). Relativistic gravitation theory for the modified Newtonian dynamics paradigm. *Physical Review D*, 70(8). Doi: 10.1103/PhysRevD.70.083509.
- Bekenstein, J. D. (2019). Kütleçekim, karadelikler ve bilgi üzerine, (C. Oran, Çev.). İstanbul: Ginko Bilim.
- Bertone, G. ve Hooper, D. (2018). The history of dark matter. *Reviews of Modern Physics*, 90, 32.
- Carrigan, R. ve Trower, W. (1983). Magnetic monopoles, *Nature* 305, 673-678.
- Cartlidge, E. (2018). Roger Penrose claims new evidence for cyclic universe. *Physics World*, 31(10), 5. Erişim tarihi: 10.04.2021, <https://physicsworld.com/a/new-evidence-for-cyclic-universe-claimed-by-roger-penrose-and-colleagues/>.
- Chaichian, M., Klusoň, J., Oksanen, M. ve Tureanu, A. (2014). Can TeVeS be a viable theory of gravity? *Physics Letters B*, 735, 322-326.
- Choi, S.K. ve ark. (2020). The Atacama Cosmology Telescope: a measurement of the cosmic microwave background power spectra at 98 and 150 GHz. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 12, 45.
- Clifton, T., Ferreira, P.G., Padillab, A. ve Skordisbet, C. (2012). Modified gravity and cosmology. *Physical Reports*, 513(1-3), 1-189.
- Clowe, D., Bradač, M., Gonzalez, A. H., Markevitch, M., Randall, S. W., Jones, C. ve Zaritsky, D. (2006). A direct empirical proof of the existence of dark matter. *The Astrophysical Journal Letters*, 648(2), L109. Doi: 10.1086/508162.
- Copi, C.J., Schramm, D.N. ve Turner, M.S. (1994). TurnerBig-Bang nucleosynthesis and the baryon density of the universe. *Science*, 267, 192-199.
- De Felice, A. ve Tsujikawa, S. (2010). f(R) theories. *Living Reviews in Relativity*, 13, 3.
- De Leo, M. (2018). Erişim tarihi: 09.04.2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Galaxy_rotation_curve
- Demir, D. A. (2021). Emergent gravity as the eraser of anomalous gauge boson masses, and QFT-GR concord. *General Relativity and Gravitation*, 53(2), 1-22.
- Einstein, A. (1920). On the electrodynamics of moving bodies, (M.N. Saha, Çev.). The principle of relativity: original papers by A. Einstein and H. Minkowski kitabı içinde (1-34 ss.), University of Calcutta. (Orijinal makale: Zur elektrodynamik bewegter Körper, in *Annalen der Physik*. 17:891-921, 1905.)
- Einstein, A. (1986). Cosmological considerations on the general theory of relativity. J. Bernstein ve G. Feinberg (Editörler). *Cosmological Constants*, 16. (Orijinal makale: Einstein, A. 1917. Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitz. König. Preuss. Akad., 142-152.)
- Einstein, A. (1997). The collected papers of Albert Einstein; volume 6 the Berlin years: Writings 1914-1917, (A. Engel, Çev.). (98-120 ss.), Princeton: Princeton University Press.
- Einstein, A. (1998). İzafiyet teorisi (G. Aktaş, Çev.), 5. Baskı. İstanbul: Say Yayınları. (Orijinal kitap: "Relativity: the special and general theory. (1916)".)
- Evans, J. (12.02.2020). Aristarchus of Samos. *Encyclopedia Britannica*. Erişim tarihi: 08.04.2021, <https://www.britannica.com/biography/Aristarchus-of-Samos>.
- Event Horizon Collaboration ve ark. (2019). First M87 Event Horizon Telescope results. v. physical origin of the asymmetric ring. *The Astrophysical Journal Letters*, 875(L5), 31.
- Faucher-Giguère, C., Lidz, A. ve Hernquist L. (2008). Numerical simulations unravel the cosmic web. *Science*, 319, 52-55.
- Ferreira, P.G. (2019). Cosmological tests of gravity. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 57, 335-374.
- Guth, A. (2018). The early universe MIT lecture notes 8-10. Erişim tarihi: 09.04.2021, <https://web.mit.edu/8.286/www/lec18/ln08-euf18.pdf>
- Hansson, J. (2019). The Klein-Alfvén cosmology revisited, *Journal of Physics Communications*, 3(11). Doi: 10.1088/2399-6528/ab4ffa.
- Libeskind M.I. ve ark. (2013). Cold versus warm dark Matter simulations of a galaxy group. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 30.
- LIGO Scientific Collaboration ve the Virgo Collaboration. (2016). *Physical Review Letters*, 116, 061102.
- Milgrom, M. (1983). A modification of the Newtonian dynamics: implications for galaxies. *The Astrophysical Journal*, 270, 384-389.
- Milgrom, M. (2008). Marriage à la-MOND: Baryonic dark matter in galaxy clusters and the cooling flow puzzle. *New Astronomy Reviews*, 51(10-12), 906-915.
- Milgrom, M. (2014). The MOND paradigm of modified dynamics. *Scholarpedia*, 9(6). Doi: 10.4249/scholarpedia.31410.
- Mukhi, S. (2011). String theory: a perspective over the last 25 years. *Classical and Quantum Gravity*, 28(15). Doi: 10.1088/0264-9381/28/15/153001.
- NASA/WMAP Science Team (24.01.2014). Foundations of Big Bang cosmology. Erişim tarihi: 08.04.2021, https://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_concepts.html.
- Olpak, M. A. (2018). Kopernik, Kepler, Galileo, Newton: Bilimsel dünya görüşünün oluşumunu nasıl etkilediler? *Madde, Diyalektik ve Toplum*, 1(4), 286-291.
- Olpak, M. A. (2020). "Görelilik" üzerine: ne anlaşıyor, ne anlamalıyız? *Madde, Diyalektik ve Toplum*, 3(2), 95-110.
- Parker, B. R. (2013). *Plasma Cosmology. The vindication of the big bang: Breakthroughs and barriers*. Boston: Springer. 325-335. Doi: 10.1007/978-1-4899-5980-5.
- Van Raamsdonk, M. (2010). Building up spacetime with quantum entanglement. *General Relativity and Gravitation*, 42(10), 2323-2329.
- Randall, L. (2015). *Dark matter and the dinosaurs: the astounding interconnectedness of the universe*. Ecco / Harper Collins Publishers.
- Riess, A.G. ve ark. (1998). Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant. *The Astronomical Journal*, 116, 1009-1038.
- Rodrigues, D. C., Marra, V., del Popolo A. ve Davari, Z. (2018). Absence of a fundamental acceleration scale in galaxies. *Nature Astronomy*, 2(8), 668-672.
- Rovelli, C. (1998). Loop quantum gravity. *Living Reviews in Relativity*. 1(1), 1. Doi: 10.12942/Irr-1998-1.
- Sakharov, A. D. (2000). Vacuum quantum fluctuations in curved space and the theory of gravitation. *General Relativity and Gravitation*, 32(2), 365-367. (Orijinal makale: Sakharov, A. D. (1967). *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 177(1), 70-71.)
- Sanders, R. H. (1998). Cosmology with modified Newtonian dynamics (MOND). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296(4), 1009-1018.

- Sanders, R. H. (2003). Clusters of galaxies with modified Newtonian dynamics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 342(3), 901-908. Doi: 10.1046/j.1365-8711.2003.06596.x.
- SDSS (2002). Sloan Digital Sky Survey: early data release. *The Astronomical Journal*, 123(1), 485-548.
- Siegel, E. (08.10.2020). No, Roger Penrose, we see no evidence of a 'Universe before the Big Bang'. Erişim Tarihi: 08.04.2021, <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2020/10/08/no-roger-penrose-we-see-no-evidence-of-a-universe-before-the-big-bang/>.
- Skordis, C. (2009). The tensor-vector-scalar theory and its cosmology. *Classical and Quantum Gravity*, 26(14). Doi: 10.1088/0264-9381/26/14/143001.
- Talbott, D. (2011). The plasma universe of Hannes Alfvén. *Edge Science: Current Research and Insights*, 2011 (9), 5-10. <http://coincider.com/wp-content/uploads/2014/10/edgescience-09.pdf>
- Tate, J. (14.01.2010). What is loop quantum gravity? Erişim tarihi: 08.04.2021, <https://www.universetoday.com/50702/loop-quantum-gravity/>.
- Tod, P. (2021). Conformal methods in general relativity with application to Conformal Cyclic Cosmology: A minicourse at the IXth IMLG Warsaw 2018, Polish Acad. Sci. Inst. Math. (IMPAN).
- Tong, D. (2009). String theory: University of Cambridge part III mathematical tripos. arXiv:0908.0333.
- Tully, R. B. ve Fisher, J. R. (1977). A new method of determining distances to galaxies. *Astronomy and Astrophysics*, 54(3), 661-673.
- Vázquez, J. A., Padilla, L. E. ve Matos, T. (2018). Inflationary cosmology: from theory to observations. *Revista Mexicana de Física*. E17(1), 73-91. Doi: 10.31349/RevMexFisE.17.73.
- Verlinde, E. (2011). On the origin of gravity and the laws of Newton. *Journal of High Energy Physics*, 2011(4), 1-27. Doi: 10.1007/JHEP04(2011)029.
- Visser, M. (2002). Sakharov's induced gravity: a modern perspective. *Modern Physics Letters A*, 17(15n17), 977-991.
- Weinberg, S. ve Witten, E. (1980). Limits on massless particles. *Physics Letters B*, 96(1-2), 59-62.
- Wheeler, J. ve Ford, K. (2000). Geons, black holes and quantum foam: a life in physics. New York: W. W. Norton & Company.
- Williams, M. (13.02.2020). Astronomers simulated how the universe would look without dark matter. Erişim tarihi: 08.04.2021, <https://www.universetoday.com/144985/astronomers-simulated-how-the-universe-would-look-without-dark-matter/>.
- Wittenburg, N., Kroupa, P. ve Famaey, B. (2020). The formation of exponential disk galaxies in MOND. *The Astrophysical Journal*, 890(2), 173.
- Wittgenstein, L. (1985). *Tractatus Logico-Philosophicus*, (O. Aruoba, Çev). İstanbul: Bilim/Felsefe/Sanat Yayınları, 165.
- Zhao, H. ve Famaey, B. (2012). Unifying all mass discrepancies with one effective gravity law?. *Physical Review D*, 86(6). Doi: 10.1103/PhysRevD.86.067301.