



Kozmik Tarihe Bir Bakış

Tansu Daylan, MA
15 Şubat 2016

Başlarken

- Önümüzdeki 2 saatte türümüzün kafasındaki evren modelini Kopernik'ten alıp, son yüzyıldaki evrimini adım adım takip edeceğiz.
- Gözlem ve aklın süzgecinden geçen hipotezlerimizin zamanla nasıl elendiğine tanık olacak, günümüzde henüz yanlışlanmayan hipotez parçalarını birleştirerek fiziksel evrenbiliminin bize evren hakkında nasıl bir resim sunduğunu göreceğiz.
- Bu süreçte bazı temel astrofiziksel kavramlara değinecek, kuramlarımızın üzerinde yükseldiği gözlemlenebilir olgularla tanışacağız.

Günün Planı

- Evren durağan mı, değişken mi?
- Arkaplan gürültüsü ile kozmik aydınlanma
- Eşdağılımdan günümüzdeki yapılanmaya

Gece gökyüzü neden karanlık?

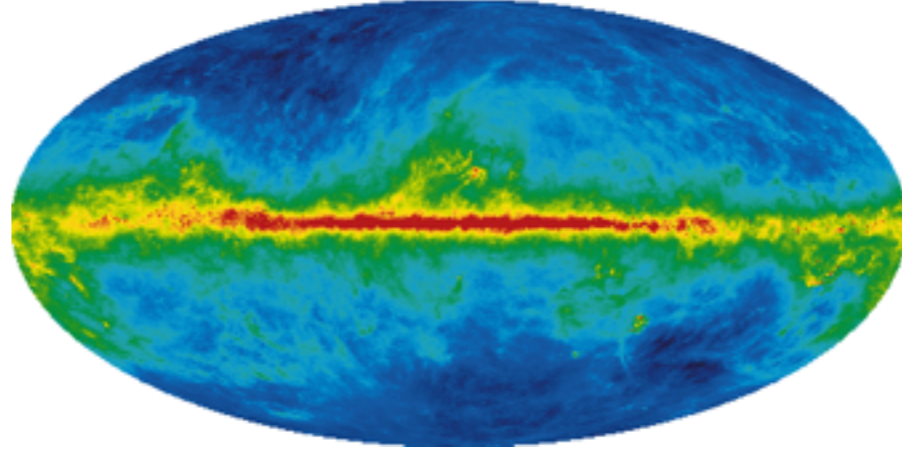
- Hikayeye 20. yüzyılın ilk yıllarından başlayalım. Bu zamana dek genel inanış, evrenin sonsuz ve durağan olduğuydu.
- Fakat, bu varsayım beraberinde bir paradoksu getiriyordu. Gökyüzündeki herhangi bir doğrultu bir yıldızla denk geleceğinden, bu durumda gece gökyüzünün aydınlık olması gerekmez miydi?



Messier 13 Yıldız Kümesi

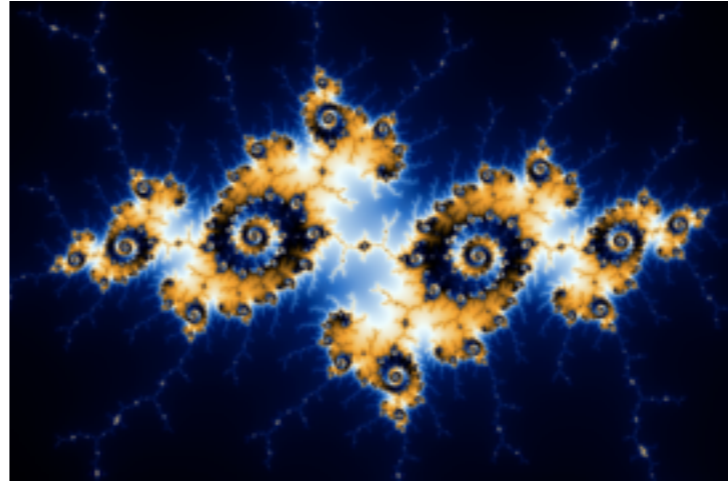
Olbers'in paradoksuna çözüm arayışı

- Kozmik toz soğurması?



Galaktik toz haritası

- Fraktal yıldız dağılımı?



Mandelbrot Kümesi

- *Veya sonsuz olmayan bir evren?*

Işığı yeniden anlama çabaları

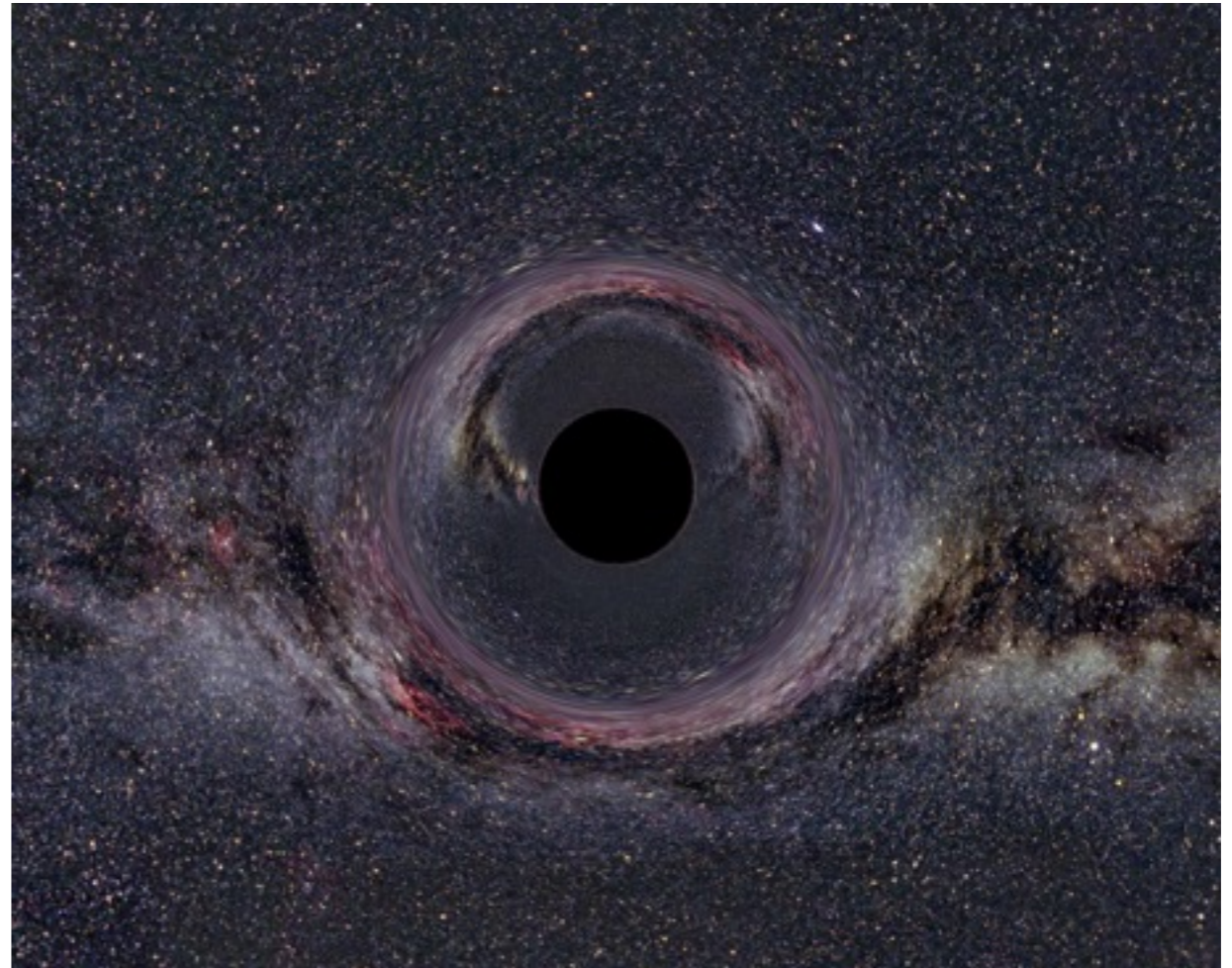
- Newton'un yerçekim kuramı ve elektromanyetizmayı barıştırmak isteyen Einstein, 1905'te bunun, ışığın referans çerçevesinden bağımsız, sabit bir hızla hareket etmesiyle mümkün olacağını önerdi.



Patent ofisindeki genç Einstein

Yeni bir yer çekim algısı

- 1916'da da bu fikri yer çekimi dinamiği ile birleştirerek günümüzdeki yerçekimi algımızı oluşturan Genel Görelilik modelini kurdu.



Uzay zamanı büken karadelik yer-çekimi simülasyonu

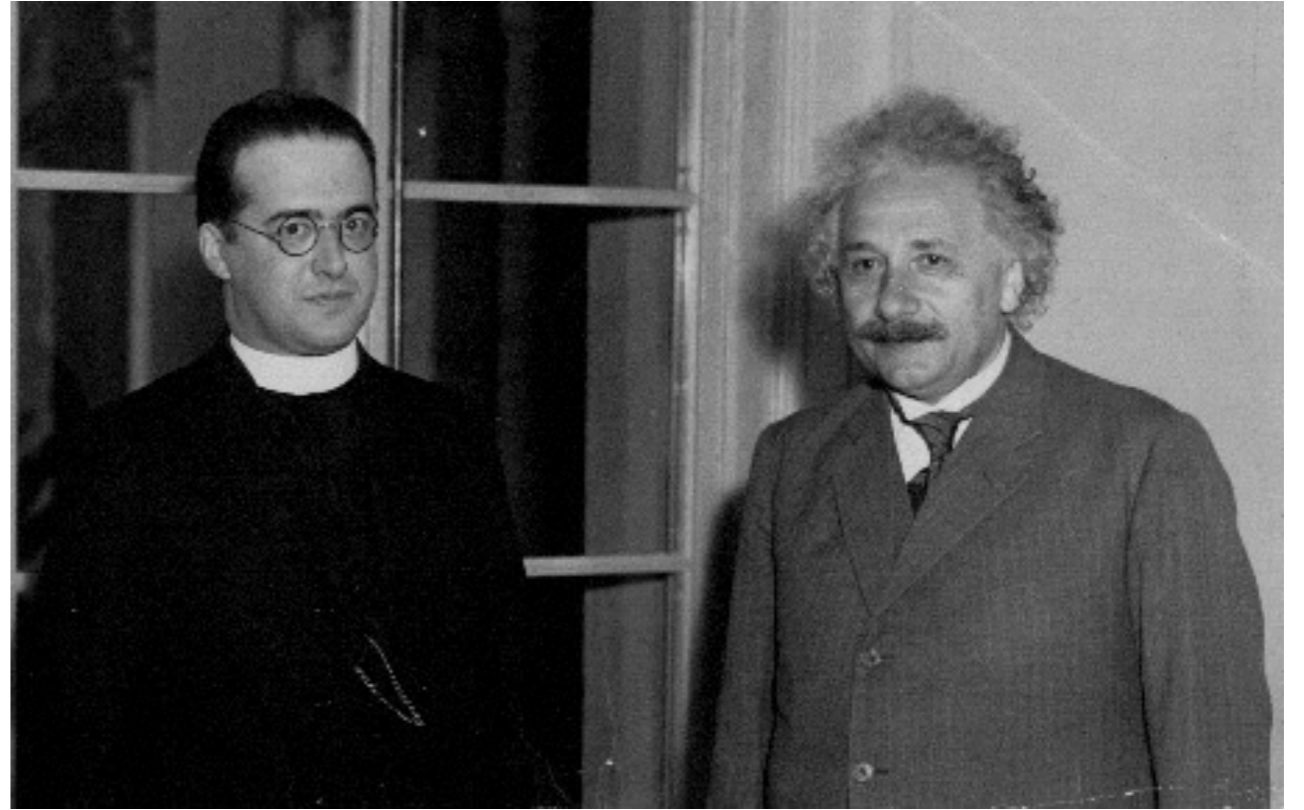
Olber paradoksuna dönersek

- Bu iki kuram bize evrenin sonluluğunu belirleyebilmek için iki çıkış noktası sağladı:
- Işık hızının sonlu olduğu bulgusu, zamanda sonlu bir evrenin, gözlemlenebilir (fiziksel) kısmının da sonlu olacağını gösterdi.
- Uzay-zamanın, içindeki madde ve enerjiye bağlı nasıl evrileceğini gösteren bir alan denklemimiz oldu.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

Durağan evren modelinin son yılları

- Bu denklemin çözümleri ile oynamaya başlayan Friedmann ve Lemaitre, 1920'lerde sabit evren modelinin kararlı olmadığını, bu nedenle de evrenin genişliyor olması gerektiğini gösterdiler.
- Einstein bu bulgular karşısında ilk başta temkinli olsa da çok yakında fikrini değiştirmek zorunda kalacaktı.



Lemaitre ve Einstein

Bulutsulardan uzaklaşan galaksilere

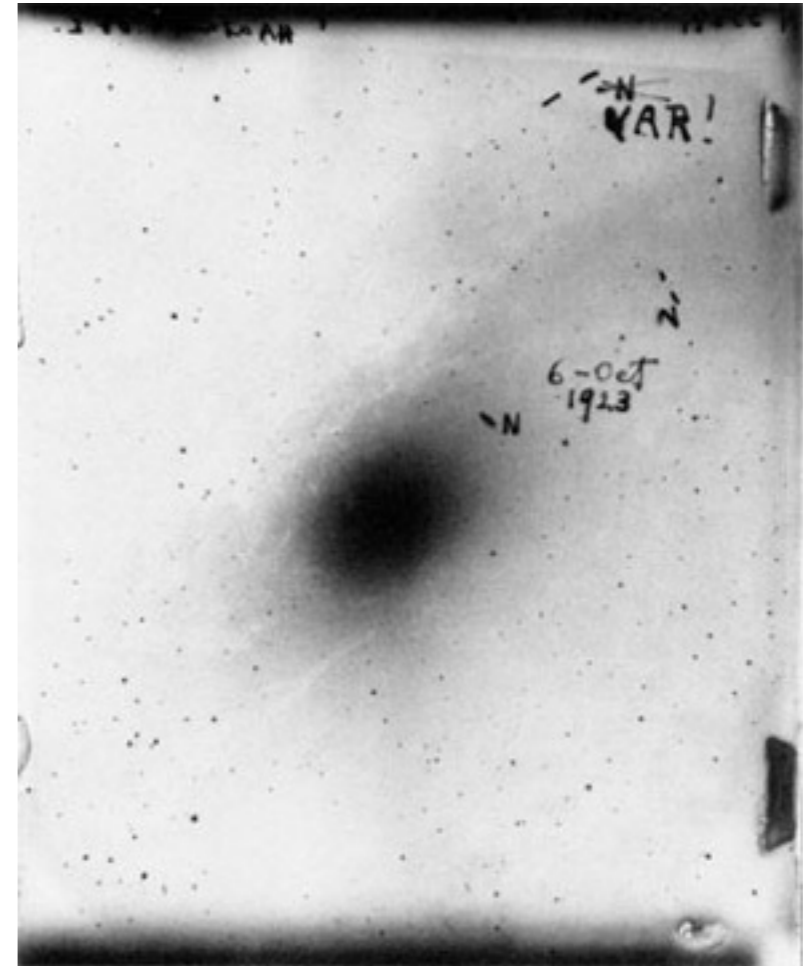
- Aynı dönemde Hubble, yeni nesil teleskobuna takılan *bulutsular* üzerinde çalışmaya başladı.
- Spiral bulutsulara olan mesafeyi ölçerek bunların galaksimizin dışındaki başka galaksiler olduğunu gösterdi.
- Eskiden yalnızca yıldızlardan oluşan evren modelimiz, bir makale ile milyonlarca kat genişlemiş oldu.



Hubble

Galaksilerdeki kozmik mesaj

- Veri toplamaya devam eden Hubble, daha sonra keşfettiği galaksilerin bizden sistematik bir şekilde uzaklaştığını gösterdi.
- İşin ilginç, galaksilerin uzaklıkları ile uzaklaşma hızları arasında bir doğru bağıntı vardı.
- Bu olgu, bize evrenin yaşını ölçmek için gözlemsel bir araç sundu.



Hubble'ın incelediği bulutsulardan biri, günümüzde Andromeda olarak bilinen kardeş galaksimiz

Geniřleyen evreni ölçmeye bařlıyoruz

- Günümüzde Hubble bağıntı sabitini yüksek hassasiyetle belirleyebiliyoruz.
- Galaksilere olan uzaklığı, yıldız patlamalarının parlaklığından, hızlarını ise kızılakayma miktarına bakarak ölçüyoruz.

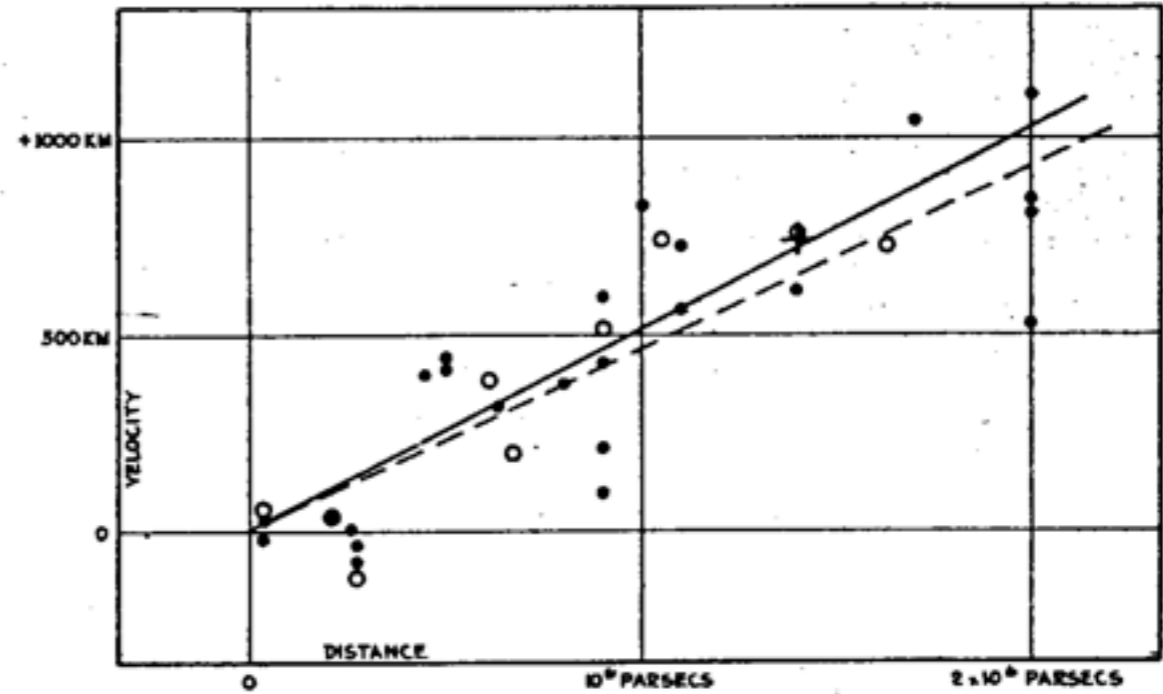
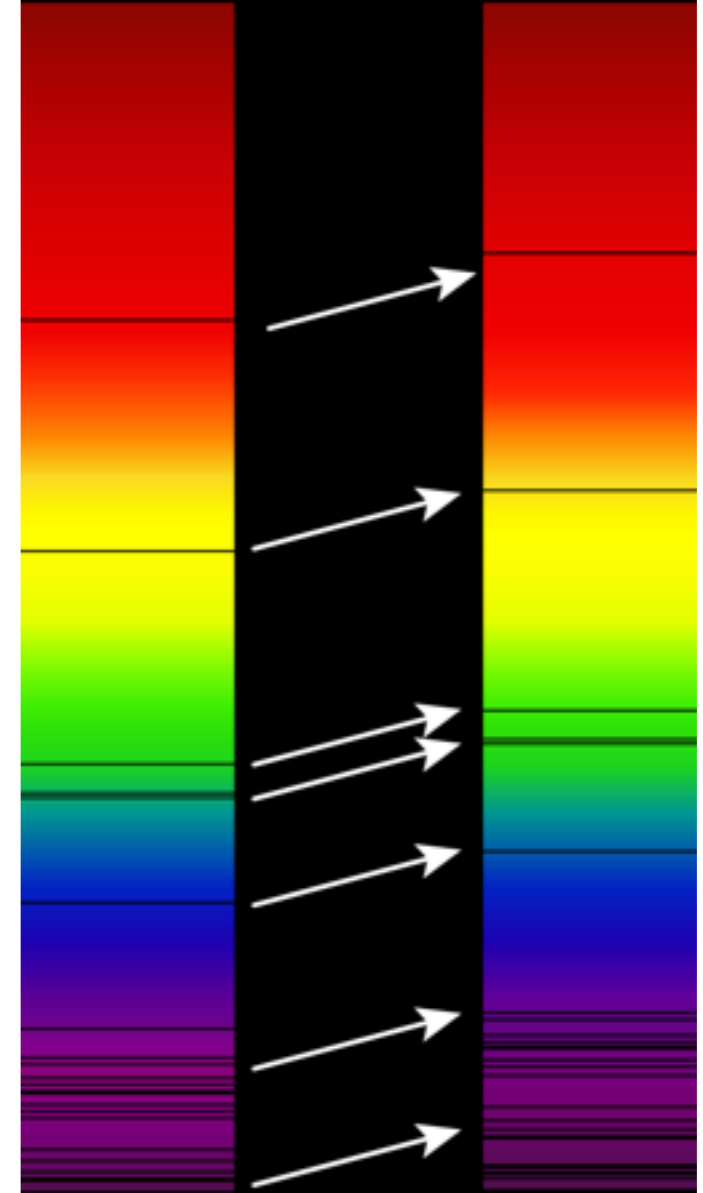


FIGURE 1

Hubble'ın 1929 makalesindeki, uzaklık-hız ilişkisi

Kızılakayma da nedir?

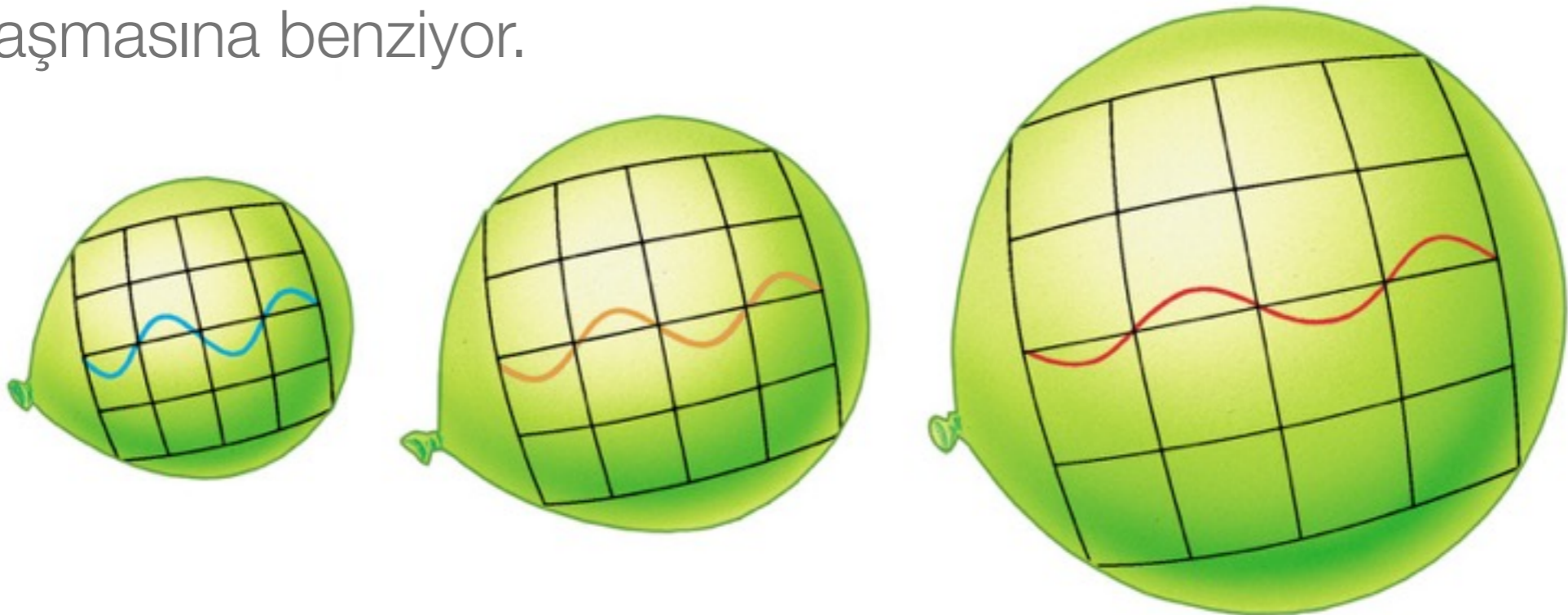
- İçinde yol aldıkları uzay-zamanın genişlemesi ile, elektromanyetik ışımının taşıyıcısı olan fotonların dalga boyları uzar.
- Bu nedenle uzaklaşan bir cismin (örneğin bir galaksinin) tayfı, laboratuvarda ölçtüğümüz tayfının kızıla kaymış halidir.



Optik tayf üzerindeki soğurma çizgilerinin hareket sebebiyle kızıla kayması

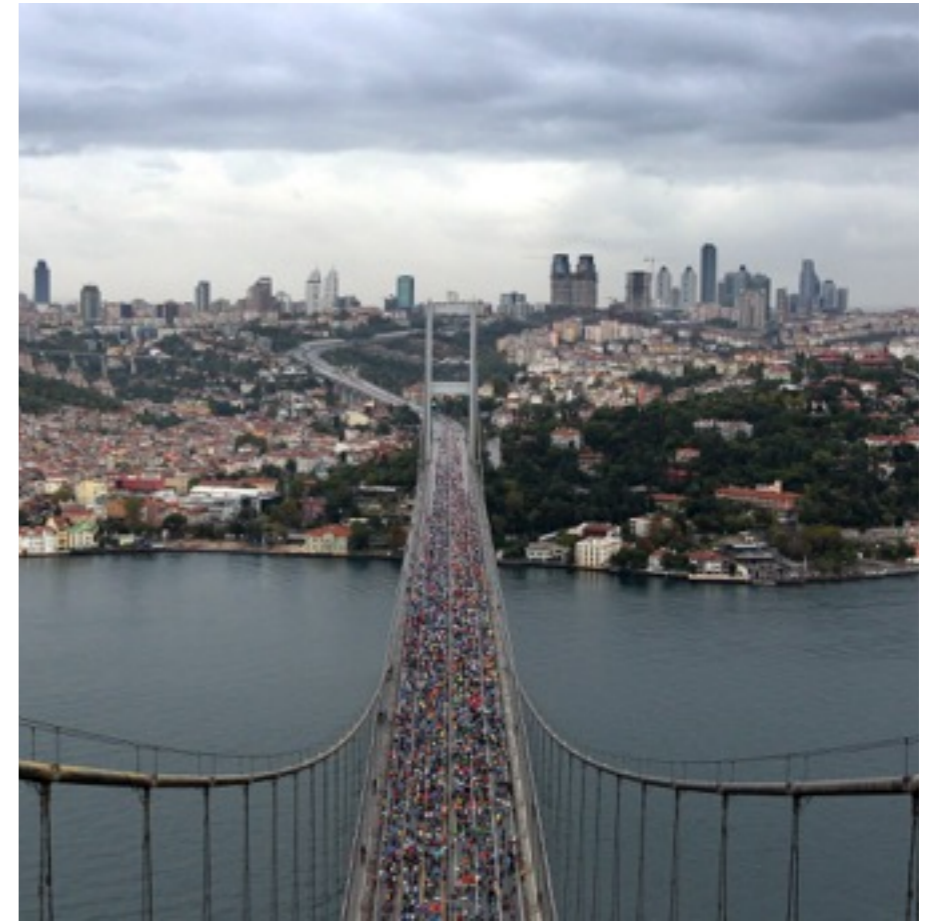
Geniřleyen evreni nasıl hayal edebiliriz?

- Uzak galaksilerin sistematik olarak kıızıla kayması, evrenin genişlediğine işaret ediyor.
- Fakat, evren **bir yere doğru** veya **belirli bir merkezden** genişlemiyor.
- Geniřleyen evren daha çok, şişen bir balonun 2 boyutlu yüzeyindeki gözlemcilerin hepsinin birbirinden, merkezsiz bir şekilde uzaklaşmasına benziyor.



Geniřleyen evreni nasıl hayal edebiliriz?

- Evrenin genişlemesi aynı zamanda bir maratona benziyor.
- Eğer bir maratonda atletler farklı, ama sabit hızlarla koşarlarsa, yarışmanın herhangi bir anında, herhangi iki atlet birbirinden uzaklaşıyor olur.
- Ve bir atlet herhangi bir anda maratonun ne kadar süredir devam ettiğini merak ederse, diğer atletlere göre hızını ve uzaklığını ölçerek Hubble sabiti yerine ‘maraton’ sabitini kullanması yeterli olur.



Avrasya maratonu

Sabit Yoğunluk Modeli

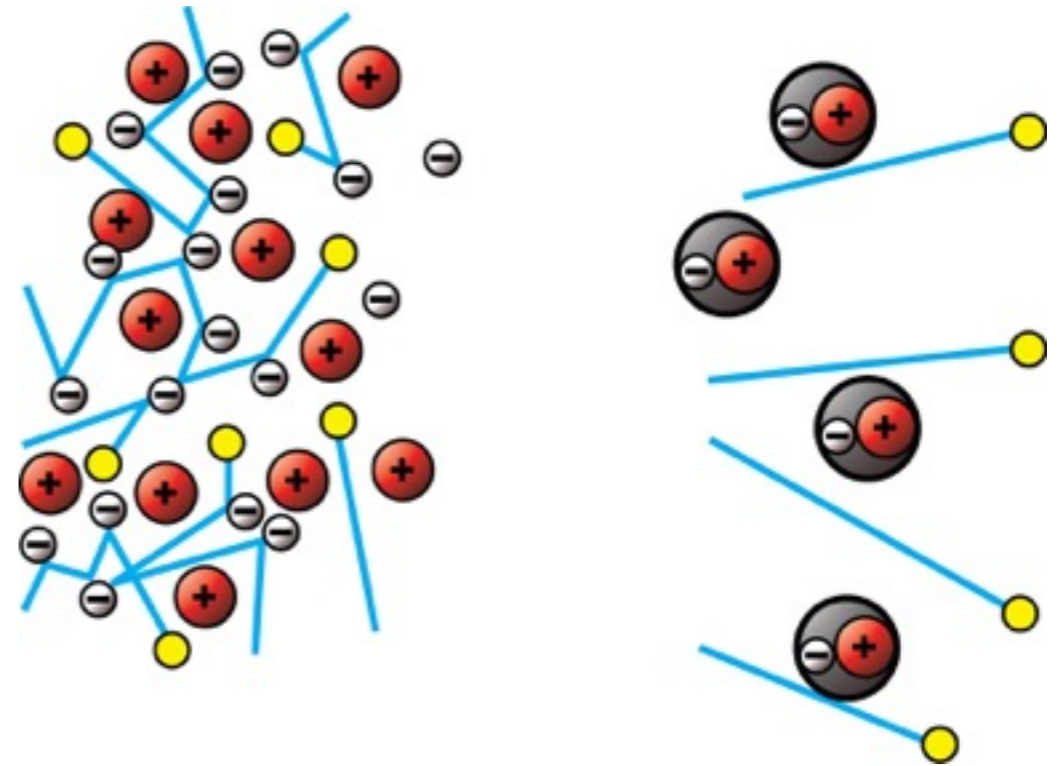
- Evren geçmişte daha küçükse akla ilk gelen, sonlu bir geçmişi olduğu ve bir tekillikten geldiği.
- Fakat Hoyle'un öncülük ettiği sabit-yoğunluk modelinde, evren genişlese de düzenli olarak madde yaratıldığından evren sonsuz ve değişmez olabiliyordu.



Hoyle BBC radyo programında (1949)

Büyük Patlama'nın öngörüsü

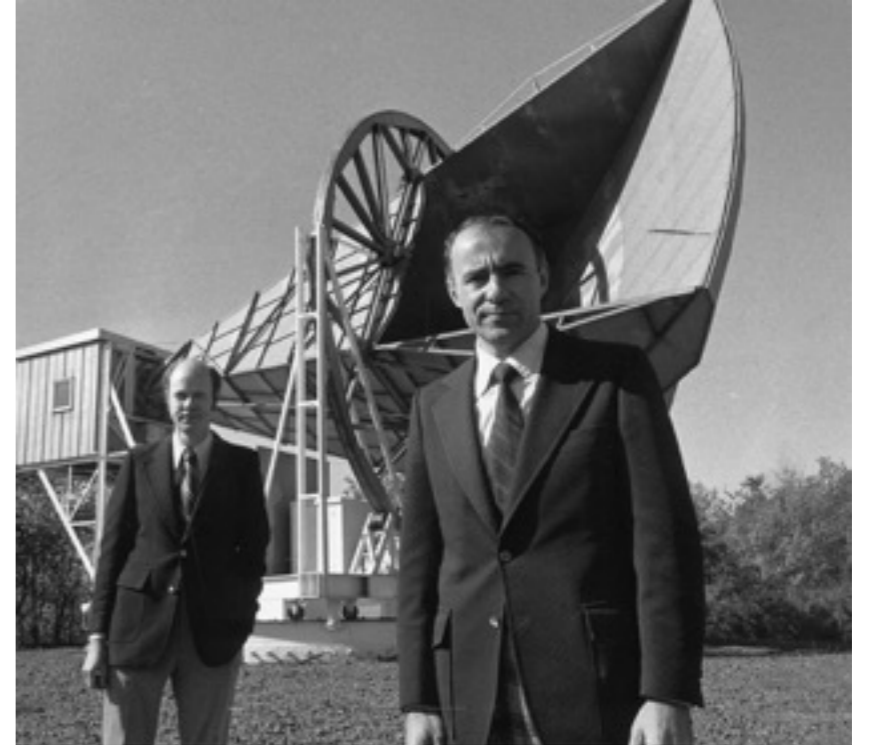
- Evren genişliyorsa, madde geçmişte daha yoğun ve sıcak olmalı. Bu da maddeyi ısıtılma dengeye ulaştırmalı ve plazma (yükü) haline getirmeli.
- Kozmik saati tekrar ileri sardığımızda ise, elektron ve protonların, yüksüz Hidrojen oluşturduğu bir faz değişimi yaşanmalı.
- Yüksüz Hidrojenlerle etkileşmeyen fotonlar da, günümüzde evrenin her yerini dolduran bir karacisim ışınması oluşturmalı.



Kozmik Elektron Proton Birleşimi

Antendeki kozmik gürültü

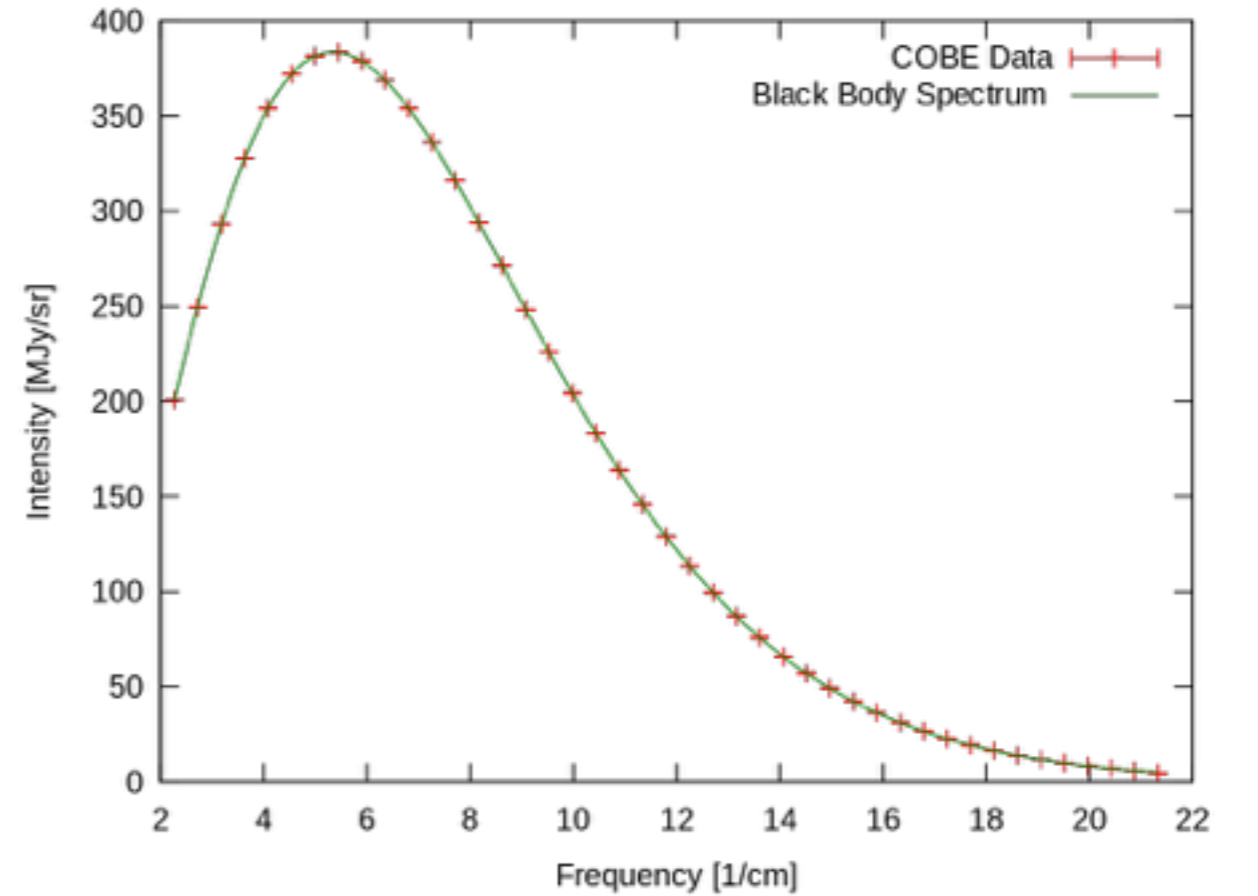
- Beklenen ışımanın keşfi 1964'te geldi ve Büyük Patlama'yı evren algımızın temel bir parçası yaptı.
- Antenlerindeki arkaplan gürültüsünden bir türlü kurtulamayan iki astronom Penzias ve Wilson, buldukları gürültünün Kozmik Mikrodalga Arkaplanı (CMB) olduğunu fark ettiler.



Penzias ve Wilson mikrodalga antenleriyle

Büyük Patlama modelinin zaferi

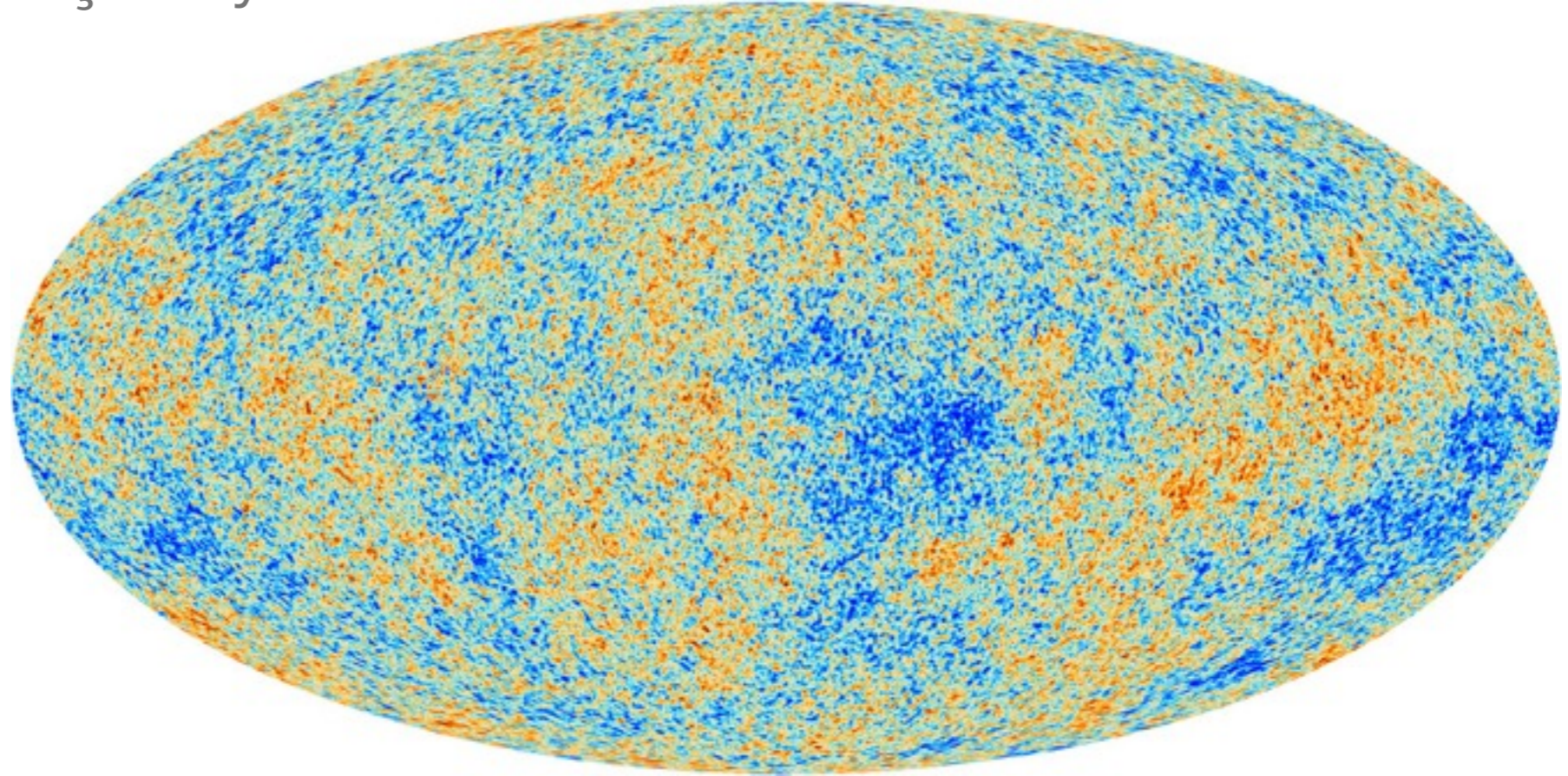
- Keşfedilen ışımaya tam da tahmin edilen tayfa sahipti.
- Modern evrenbilimin en önemli gözlemsel kaynağı olan CMB gökyüzündeki en parlak arkaplan ışımalarını oluşturuyor.



CMB'nin karacisim tayfi

CMB'nin yaşı

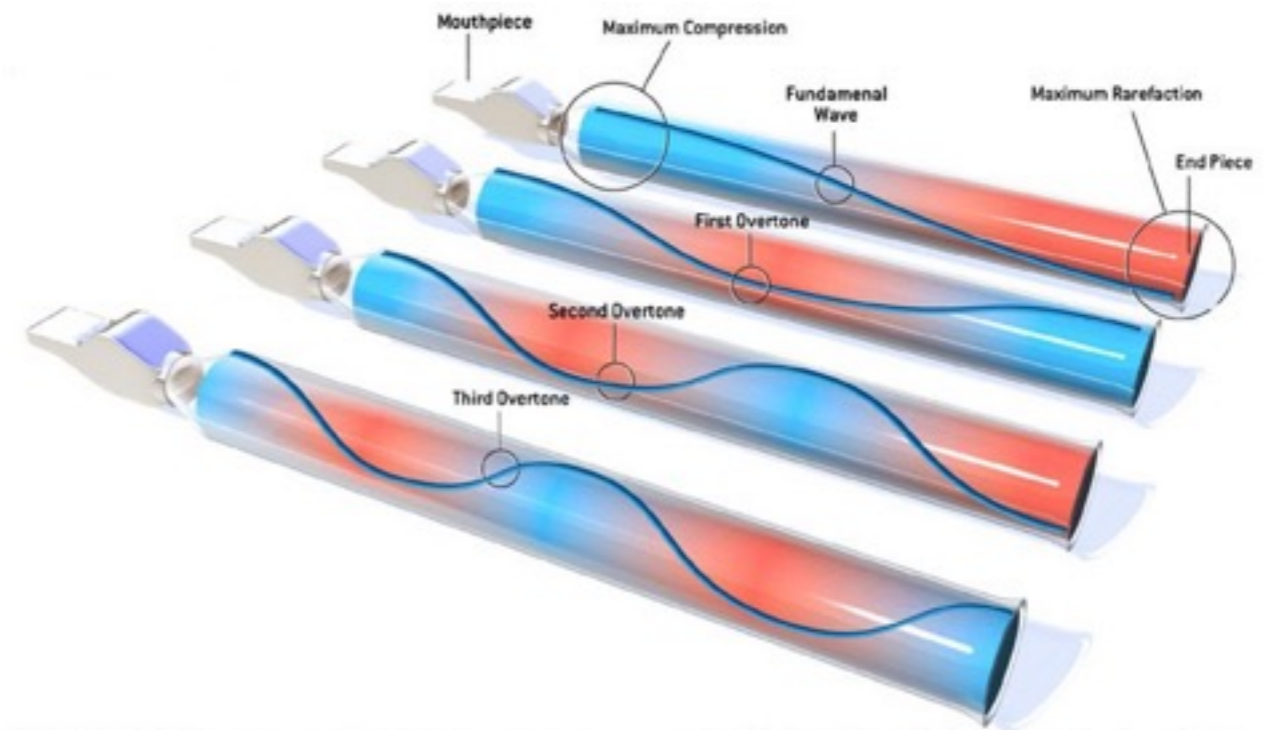
- CMB'nin ~ 2.7 Kelvin olan sıcaklığını kullanarak serbest kalma anının, evren yaklaşık 380 bin yıl yaşındayken olduğunu düşünüyoruz.



Planck CMB haritası

Akustik salınımlar

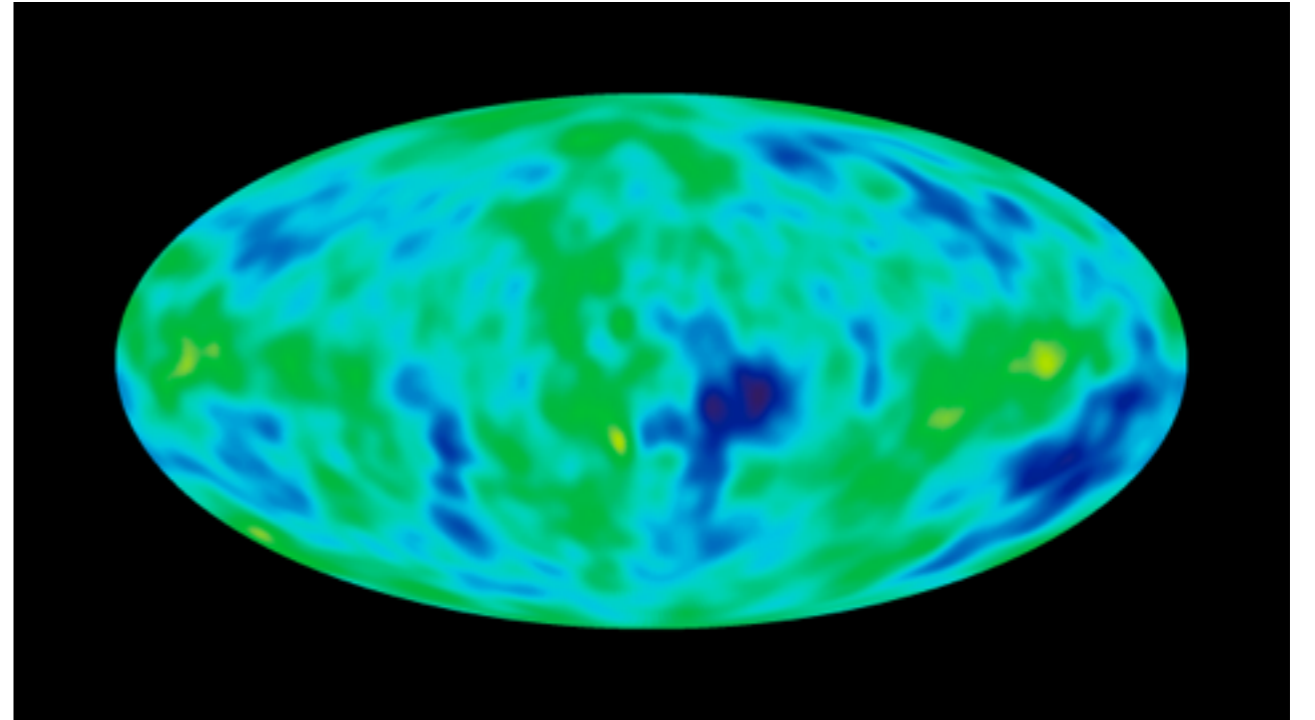
- Büyük Patlama modelinde evren sıcak ve yoğunken, fotonlar elektronlarla, elektronlar da protonlarla sık sık çarpışacağı için, madde ışınım ile güçlü bir etkileşim içinde olmalı ve bir akışkan oluşturmaliydi.
- Olası yoğunluk farkları da, aynen yaya bağlı bir kütlenin titreşmesi gibi bu akışkanda akustik salınımlar meydana getirmeliydi.
- Serbest kalan CMB fotonları da her salınım modunun o andaki sıcaklığının izini taşımaliydi.



Sıkı etkileşen bir akışkandaki akustik salınım modları

Akustik salınımların gözlemlenmesi

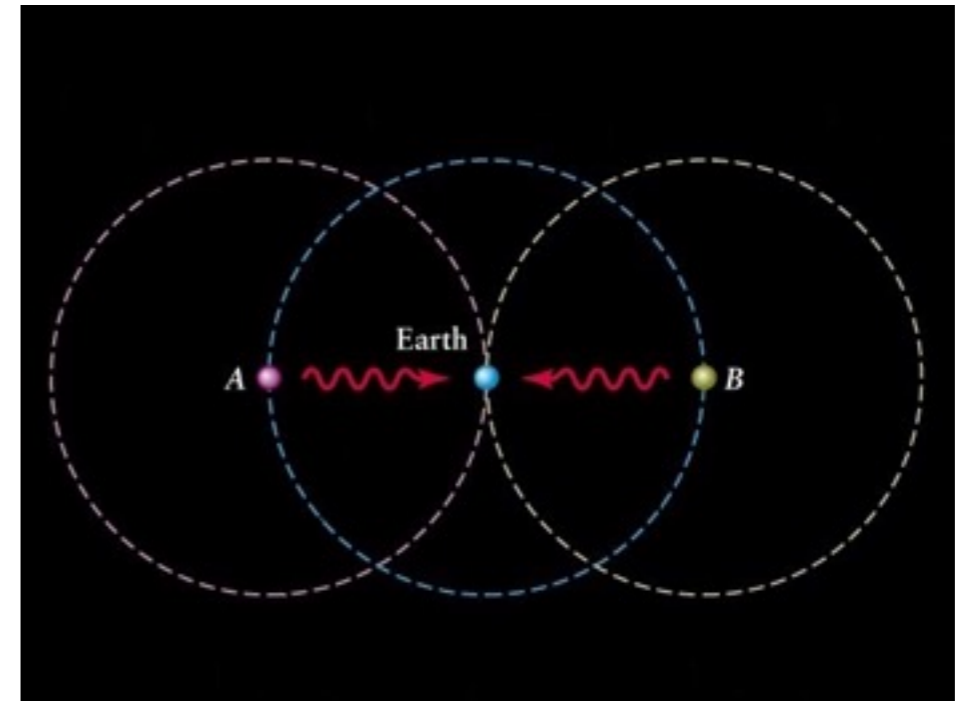
- Yerden ve balonlardan yapılan öncül deneylerden sonra CMB'nin gökyüzü haritasını çıkaran ilk uydu deneyi 1995'te COBE oldu.
- CMB'nin parlaklığının, istikametten yaklaşık olarak bağımsız olsa da, gökyüzünün farklı noktalarında 100 binde 1 mertebesinde farklılıklar içerdiğini gözlemledik.



COBE uydusunun CMB haritası

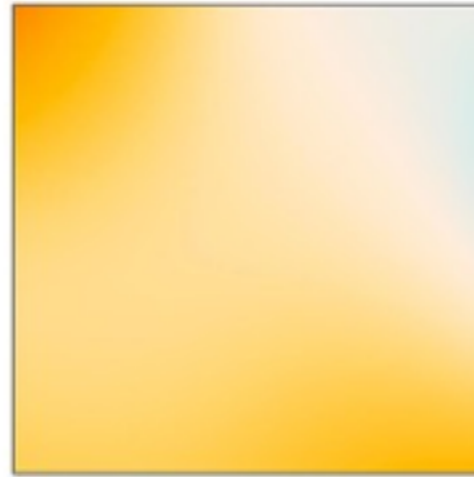
Eş-sıcaklık sürprizi

- CMB'nin yaklaşık olarak eş-parlaklıkta olması aslında beraberinde bir problemi de getiriyordu.
- Nasıl oluyordu da neden-sonuç ilişkisinde olmayan, gökyüzünün iki uç noktasındaki sıcaklık değerleri birbirinden haberdar olabiliyordu?
- 1980'de Guth tarafından önerilen Şişme modeli, evrenin ilk anlarında üssel bir genişleme öngörerek bu problemi çözecekti.

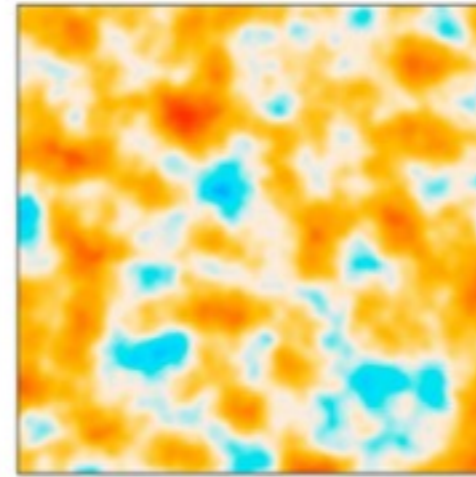


Akustik salınımları hassas ölçüm serüveni

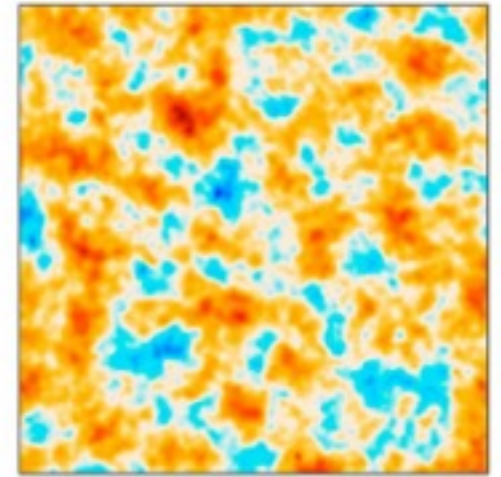
- COBE ile başlayan gözlemlere günümüzde WMAP ve Planck gibi yeni nesil uydularla devam ediyor ve CMB'yi daha iyi anlamaya devam ediyoruz.



COBE



WMAP



Planck

CMB ölçüm hassasiyetinin evrimi

Karanlığın içine derin gözlemler

- Büyük Patlama modelini destekleyen bir başka bulgu da Hubble Teleskobu'nun çektiği uzun pozlama fotoğraflar.
- Eğer yeterince hassas bir fotoğraf makinesi alır ve gökyüzünün en karanlık noktasına çevirir, günlerce süren bir pozlama alırsanız ne görmeyi beklersiniz?



Hubble Teleskobu

Karanlığın içine derin gözlemler

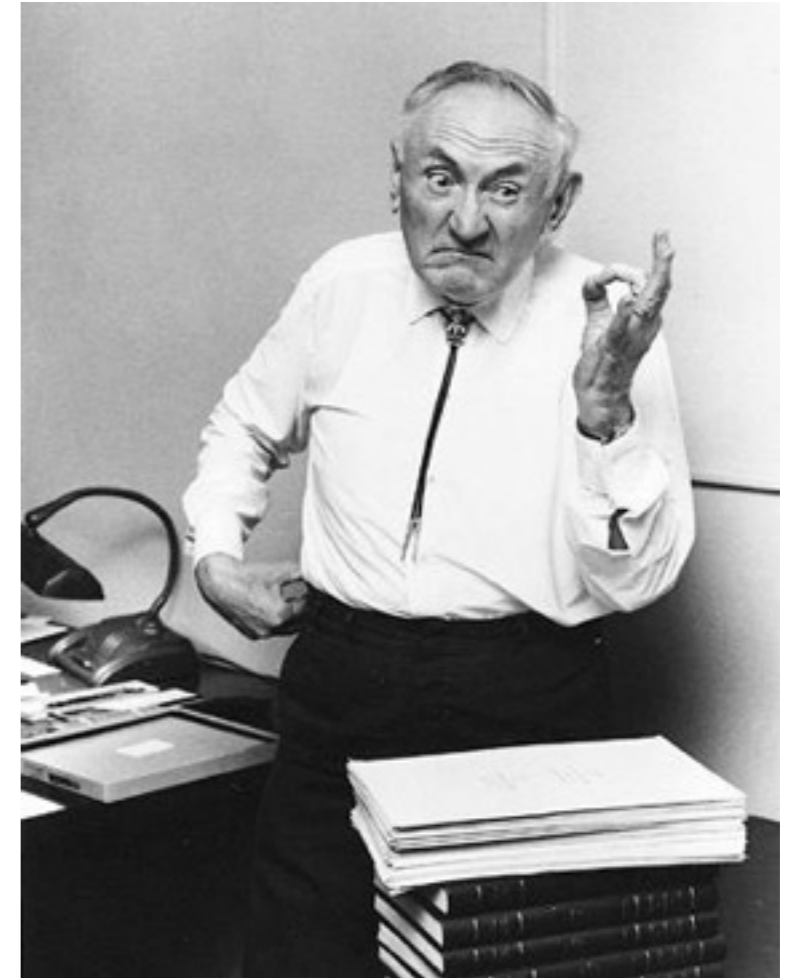
- 1995'ten beri artan hassasiyetle çekilen bu tür fotoğraflarda, evrenin kızıla kayan yüz milyarlarca galaksi ile dolu olduğunu gördük.
- Daha önemlisi, uzak olanların yakın olanlardan çok farklı özelliklere sahip olduğunu, evrimsel süreçlerinin henüz başlarında olduğunu fark ettik.
- Bu da evrenin ve içindeki galaksilerin durağan olduğu hipotezini yanlışladı.



Hubble Ultra Derin Alanı

Gözden kaçan kozmik kütle

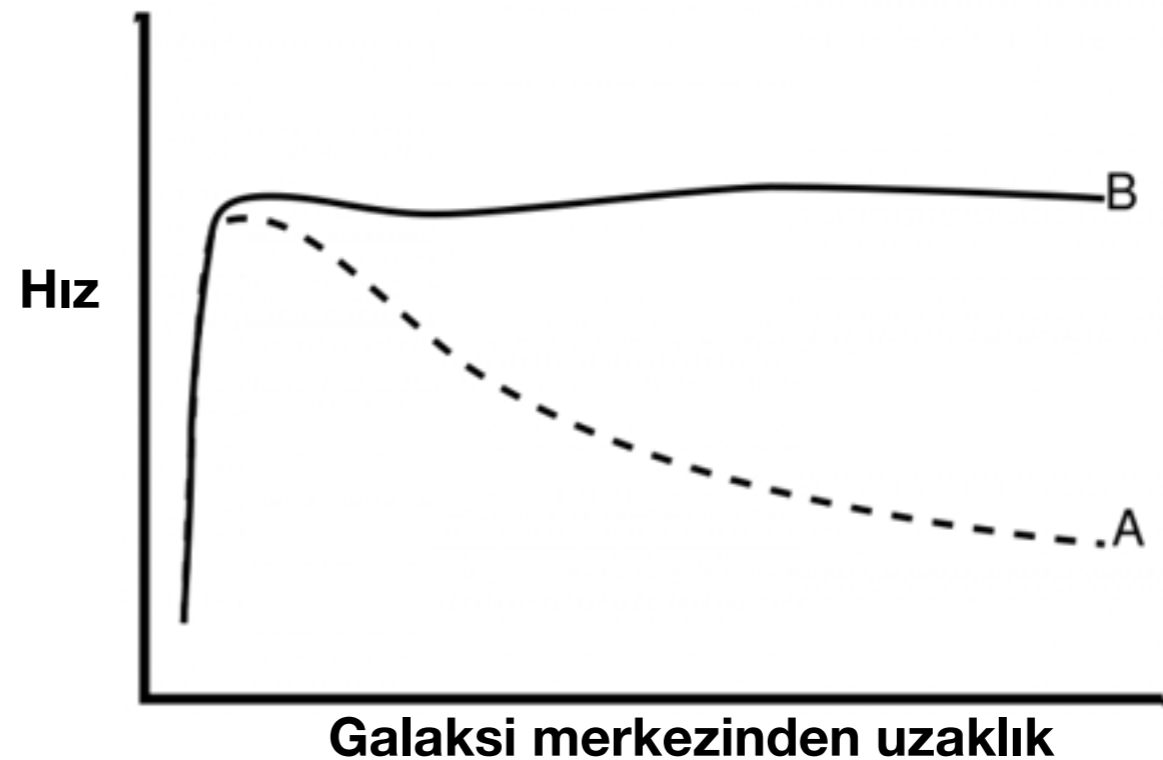
- Büyük Patlama modelinin peşinden koşarken aslında konu bütünlüğünü korumak için önemli bir sorunu atladık.
- Caltech'te çalışan astronom Zwicky, 1933 yılında gözlemlediği bir galaksi kümesinin yaydığı toplam ışık miktarının, kümenin dinamiğini açıklayabilecek kütlelerin yayacağı miktarın fazlaca altında olduğunu fark etmişti.
- Bu, kayıp kütle anlamına geliyordu!



Zwicky, rivayete göre iş arkadaşlarını tasvir ederken

Kayıp maddenin kaybolduğu yıllar

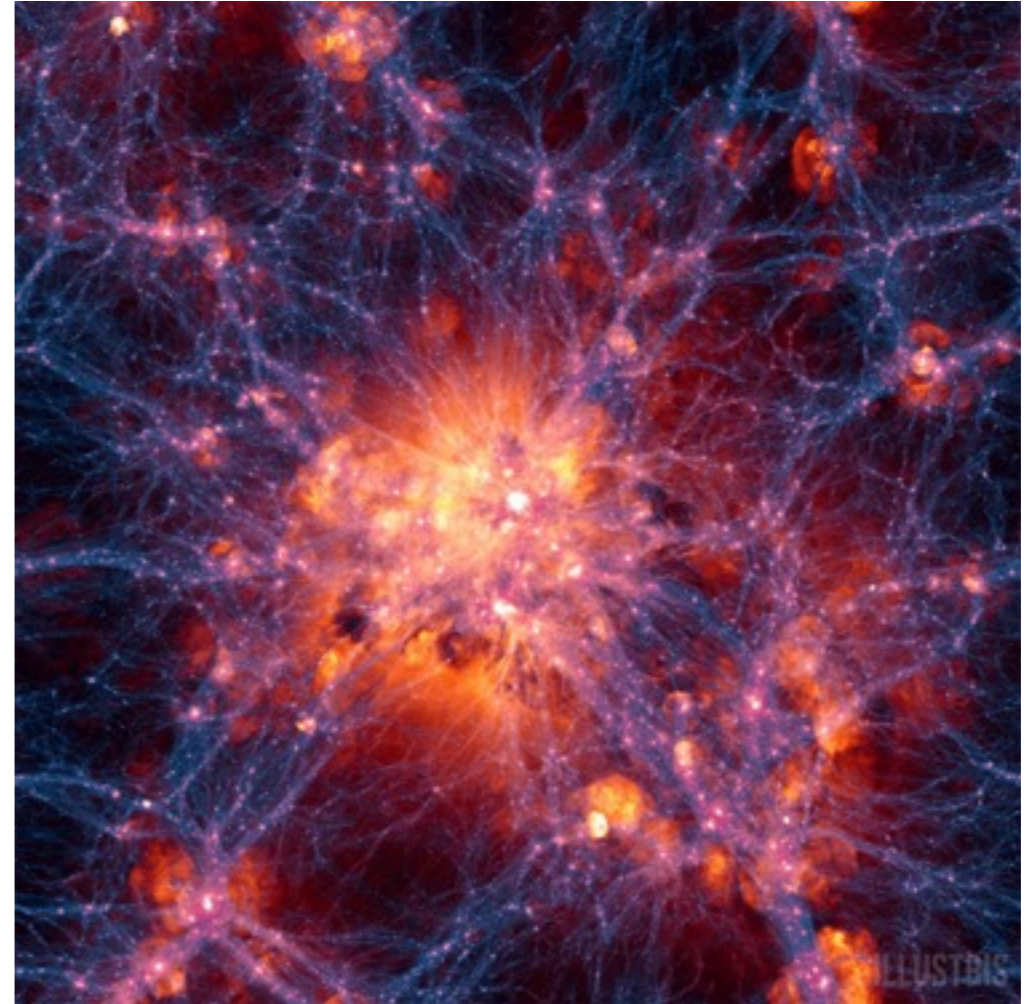
- Takip eden zamanda aynı çelişkinin kendi galaksimiz için de geçerli olduğu fark edildi.
- Yine de, kayıp madde problemi astrofizikçilerin kafasını kurcalayan diğer milyon problem arasında bir süre yer edinemedi.



Yıldızların beklenen (A) ve gözlemlenen (B) hız-uzaklık dağılımı

Yeni bir problem

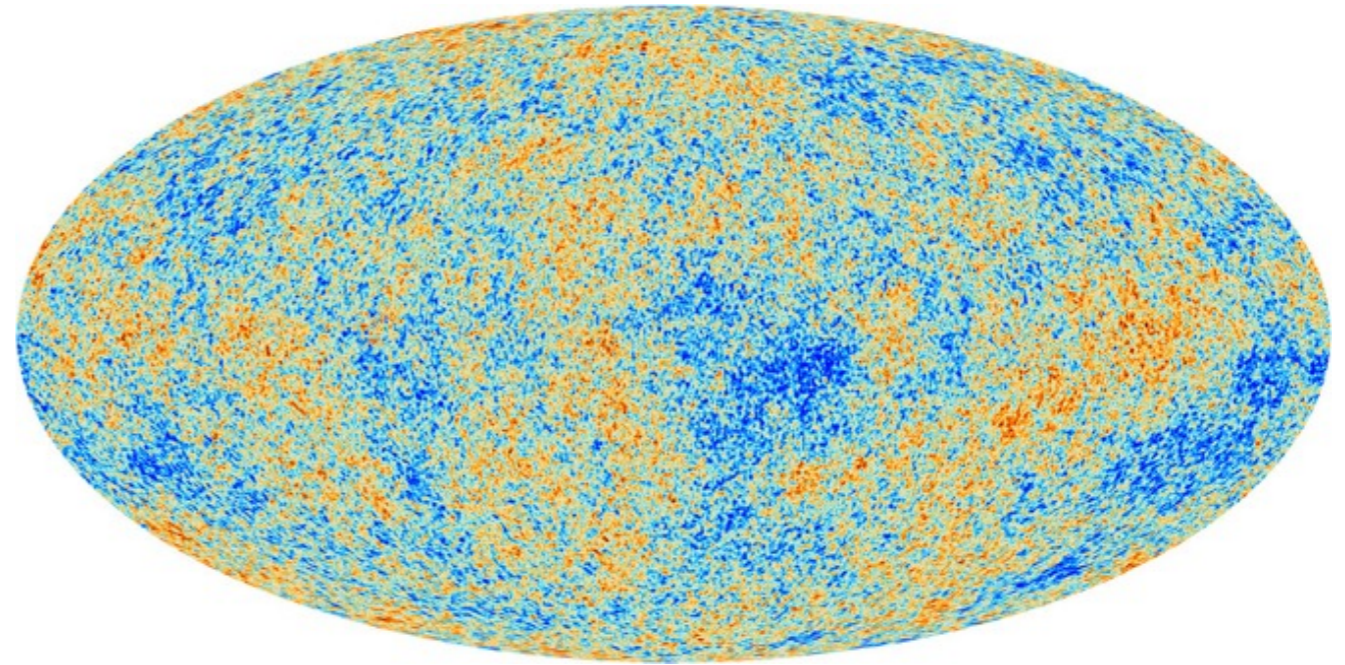
- Fakat CMB'nin keşfi alakalı bir problemi beraberinde getirmişti.
- Çünkü evren 380 bin yıl yaşında iken yoğunluk farklılıkları 100 binde 1 seviyesindeyse, yapılan hesaplara göre günümüzde (13.8 milyar yıl sonra) bu farklılıkların büyüyüp galaksileri oluşturması mümkün gözüküyordu!



Illustris simülasyonu

Karanlık madde

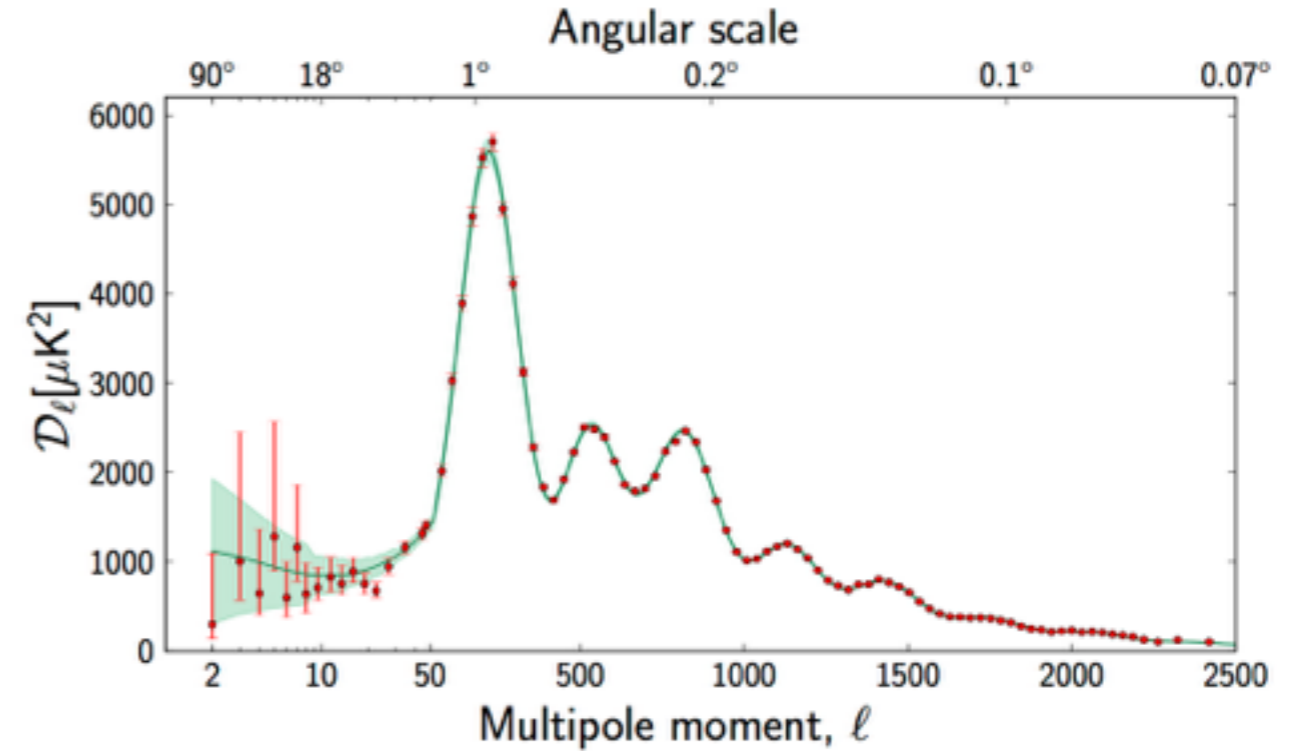
- Fakat hesaba, ışına ile etkileşmeyen, ve bu nedenle CMB'nin serbest kalmasından çok önce yapılanmaya başlayan bir madde türü eklersek evrendeki yapı oluşumu mümkün hale geliyor.
- Bu hipoteze karanlık madde diyoruz. Peki karanlık madde CMB'nin özellikleri ile uyumlu mu?



Planck CMB haritası

CMB'de karanlık madde izi

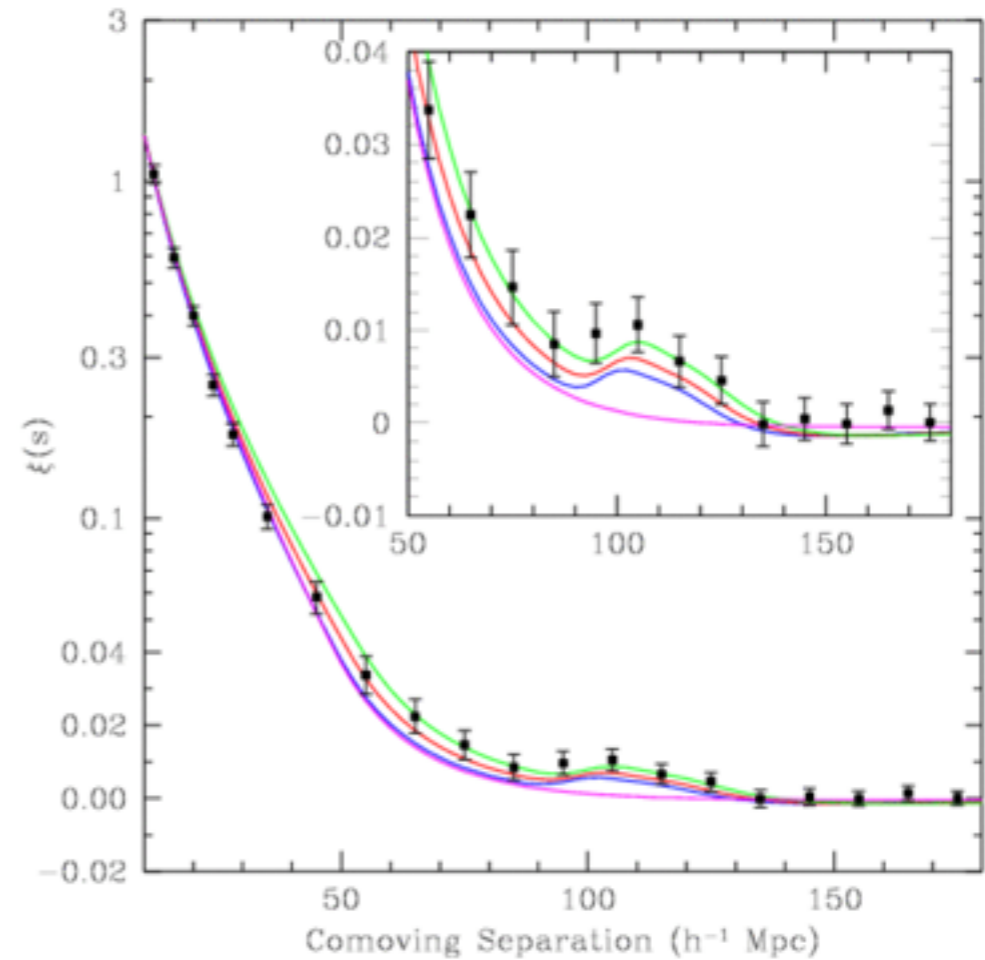
- Aslında CMB'yi eş-yoğunluklu bir evrenin rastgele bir noktasından gözlemlediğimiz için, gökyüzündeki belirli bir noktadaki CMB parlaklığının tek başına bir anlamı yok.
- Fakat gökyüzünün farklı noktalarındaki parlaklık ilişkisi, istatistiksel olarak bize evrendeki madde ve ışımının miktarını vermeli.
- Gözlemlenen ilişki de, karanlık maddenin varlığını gerektiriyor.



CMB'nin sıcaklık tayf yoğunluğu, Planck

Kozmik cetvelde karanlık madde arayışı

- Yine CMB haritasında tümseklerinin aralarındaki tipik uzaklık, bize ses dalgalarının 380 bin yılda aldığı yol miktarını gösteriyor.
- Günümüzde bu temel uzaklık birimini, hem CMB'de hem de galaksi sayımlarında bağımsız yollardan gözlemleyebiliyor, karanlık maddenin varlığına dair bir ipucu daha buluyoruz.



Kozmik cetvelin galaksi sayımındaki keşfi

Karanlık maddenin peşinden

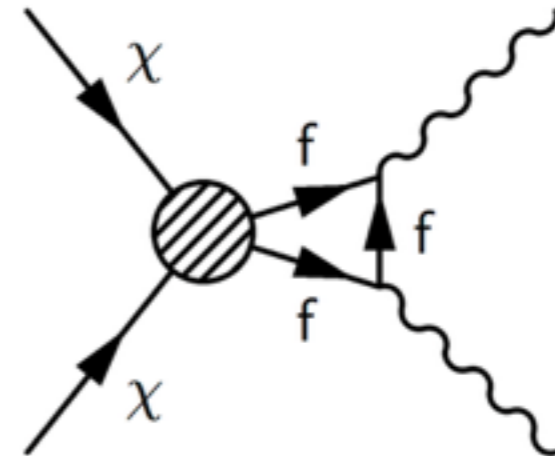
- Bunların dışında, uzak galaksilerden gelen ışığın yerçekimsel bükülmesi, galaksi çarpışma dinamikleri ve benzeri yöntemler de karanlık maddenin varlığını bağımsız olarak destekliyor.
- Fakat henüz karanlık maddenin ne dedektörlerimizle doğrudan etkileştiğini gözlemledik, ne yerçekimsel etkisi dışında bir izini bulabildik, ne de parçacık çarpıştırıcılarında oluşturabildik.



AMS-02 parçacık dedektörü

Karanlık madde ne kadar saydam?

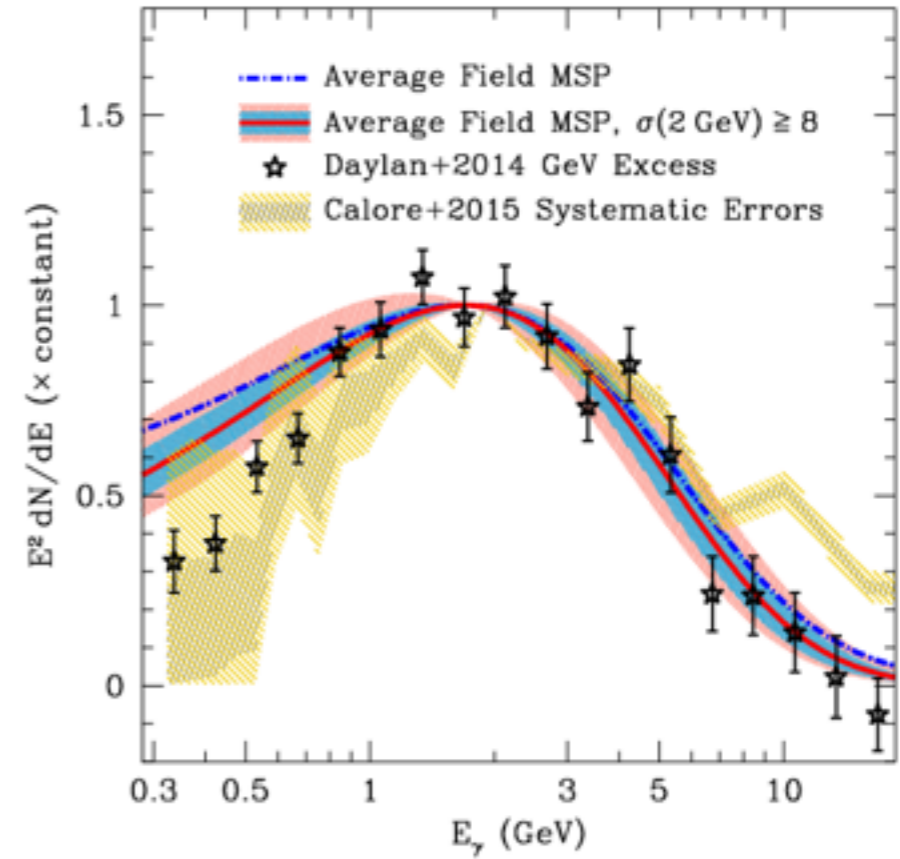
- Aslında, karanlık madde bizimle oldukça zayıf etkileşiliyor olabilir.
- Hatta eğer **sadece** yerçekimi aracılığıyla etkileşiyorsa, karanlık maddeyi ile hiçbir zaman dedektörlerimizde gözlemleyemeyebiliriz.



İyimser bir durumda karanlık maddenin fotonlara bozunduğu süreç

Olası bir karanlık iz

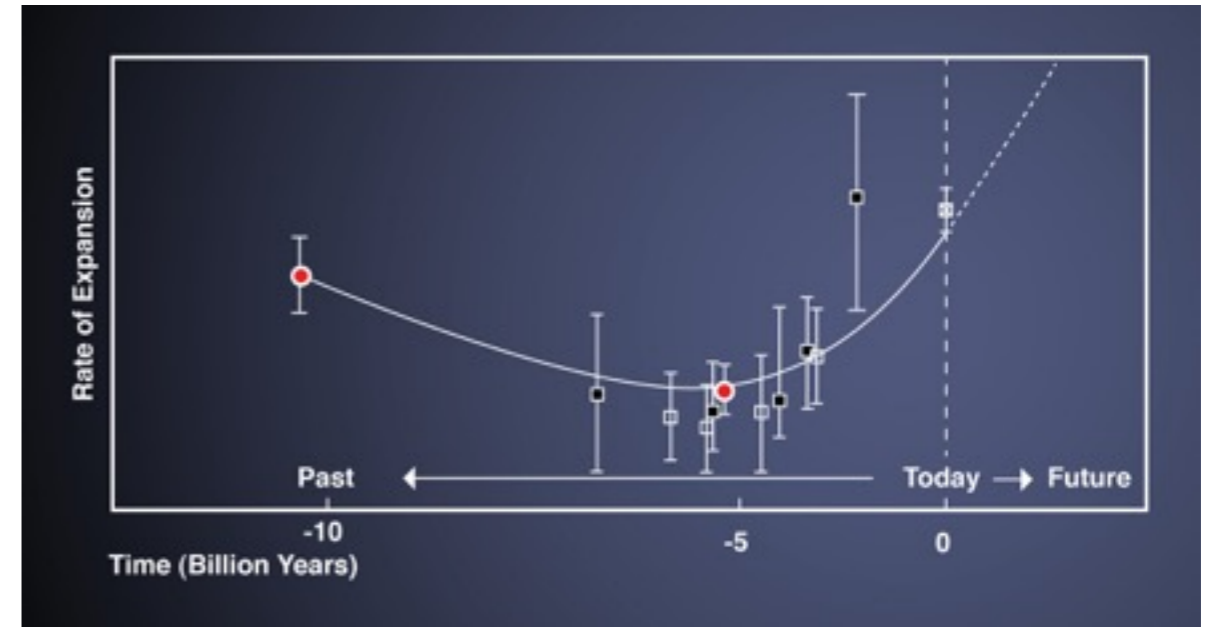
- Fakat, eğer karanlık madde az da olsa kendi arasında etkileşiyorsa, o zaman yoğun olduğu yerlerde gözlemleyebileceğimiz parçacıklar oluşturabilir.
- Örneğin 2014'te yaptığımız bir çalışmada galaksi merkezinden gelen yüksek enerjili fotonların, karanlık maddenin etkileşiminden kaynaklanıyor olabileceğini ortaya koyduk.



Samanyolu merkezindeki gamma ışınımı tayfı

Karanlık listeye son bir ek

- Standart modeli tamamlayan son bir bilinmeyen daha var.
- Hubble'ın yaptığı çalışmanın bir benzerini, çok daha hassas teleskoplar, yüksek istatistik ve uzak süpernovaları kullanarak tekrar edersek, günümüzde evrenin **ivmelenerek** genişlediğini görüyoruz.



Evrenin son ~ 5 milyar yıllık ivmelenerek genişlemesi

Kozmik enerji bütçesini tamamlıyoruz

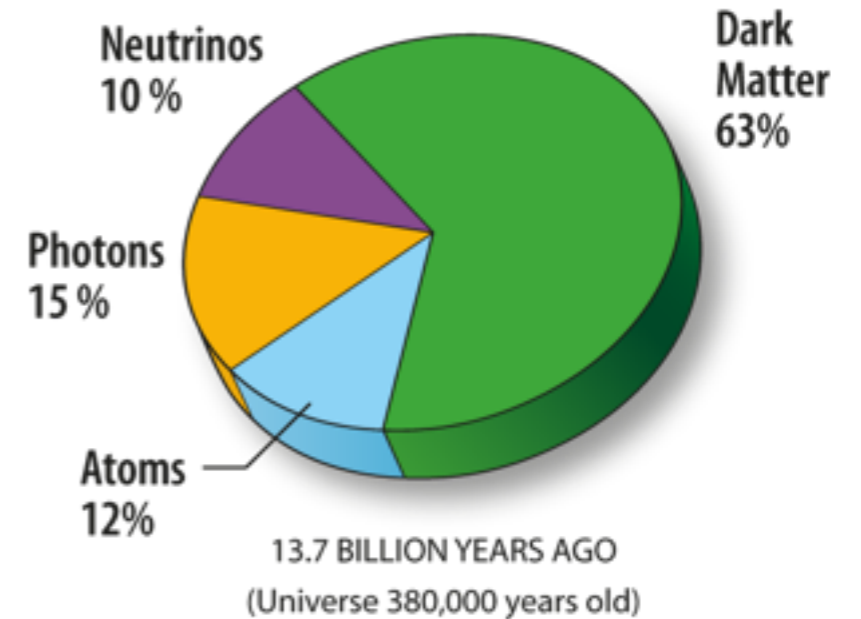
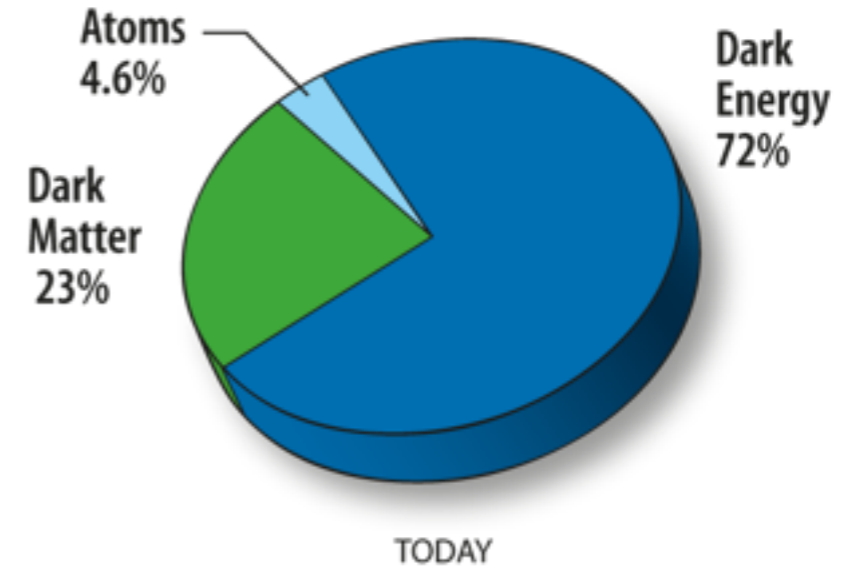
- 1998'de Harvard ve Berkeley gruplarının keşfettiği bu ivmelenme, 2011 Fizik Nobel Ödülü'ne konu oldu.
- Henüz parçacık doğasını belirleyemese de, ivmelenmenin eş-yoğunluklu bir alandan veya vakum enerjisinden kaynaklandığını düşünüyoruz.
- Bilgisizliğimizin simgesi olarak da **karanlık** enerji diye adlandırıyoruz.



Schmidt ve tez danışmanı Kirshner, Harvard-CfA

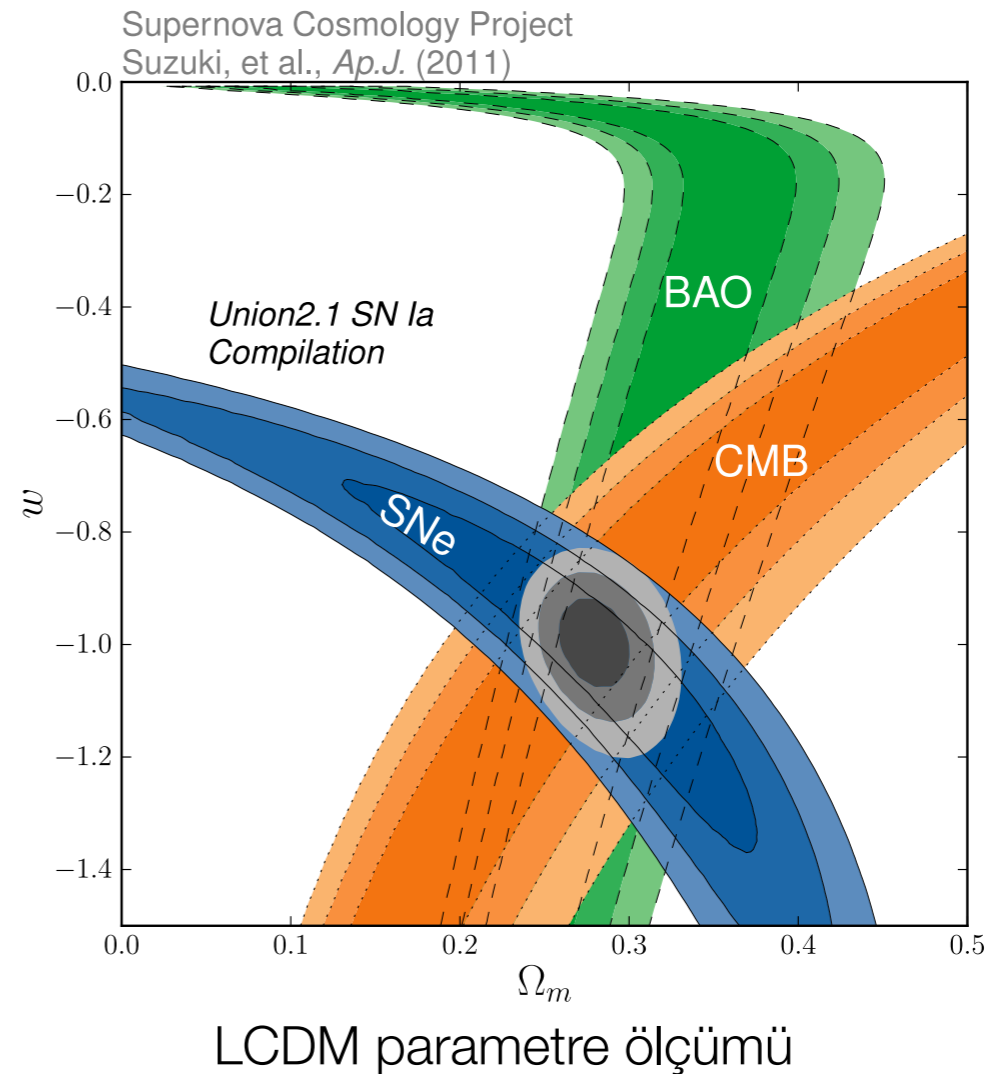
Parçaları birleştirmeye çalışalım

- Modern evrenbilimin standart uyum modeli, LCDM, baryonik (görebildiğimiz) madde, karanlık madde, ışın ve karanlık enerjiden oluşuyor.
- Λ : kozmolojik sabit (vakum enerjisi)
- CDM: soğuk (yavaş) karanlık madde
- Modern evrenbiliminin temel sorunsalı bu bileşenlerin doğasını, uzay ve zamandaki evrimini incelemek.



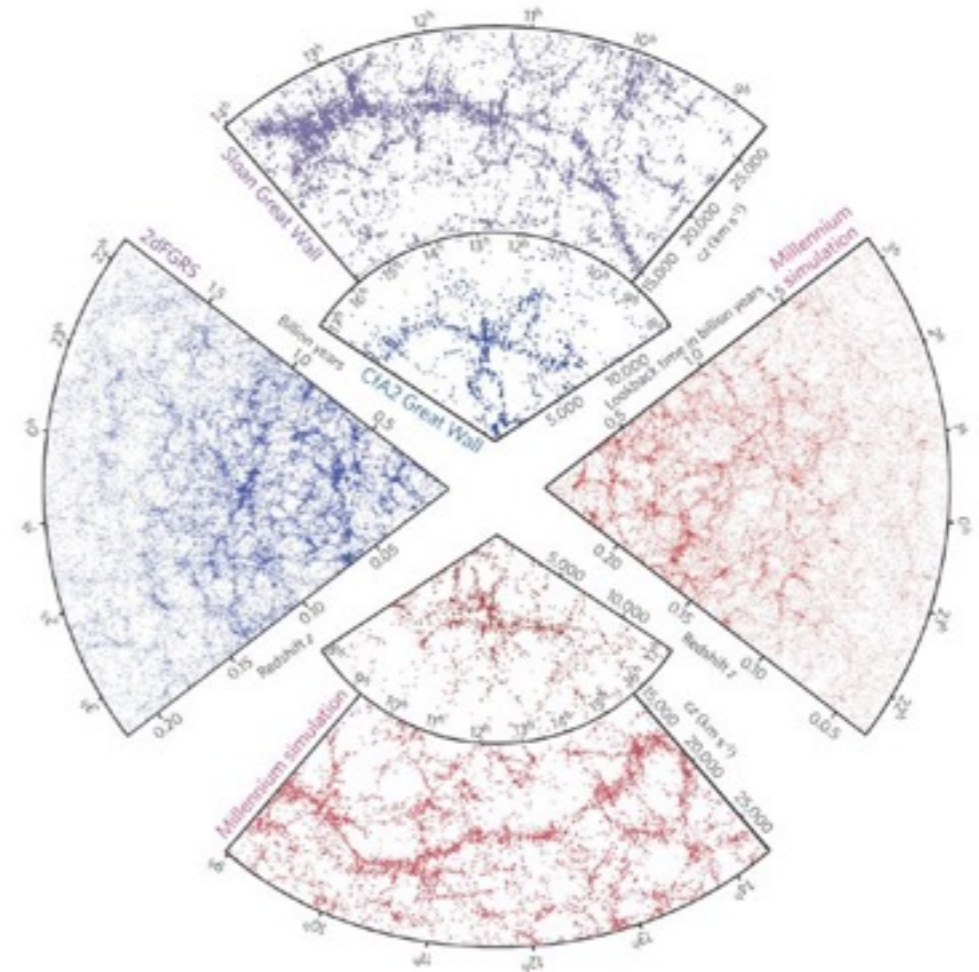
LCDM uyum modeli

- Günümüzde evrenin bileşenlerinin hassas ölçümlerini bağımsız yöntemler kullanarak yapabiliyoruz ve LCDM uyum modelini test edebiliyoruz.



Genç ve yaşlı evrenin barışması

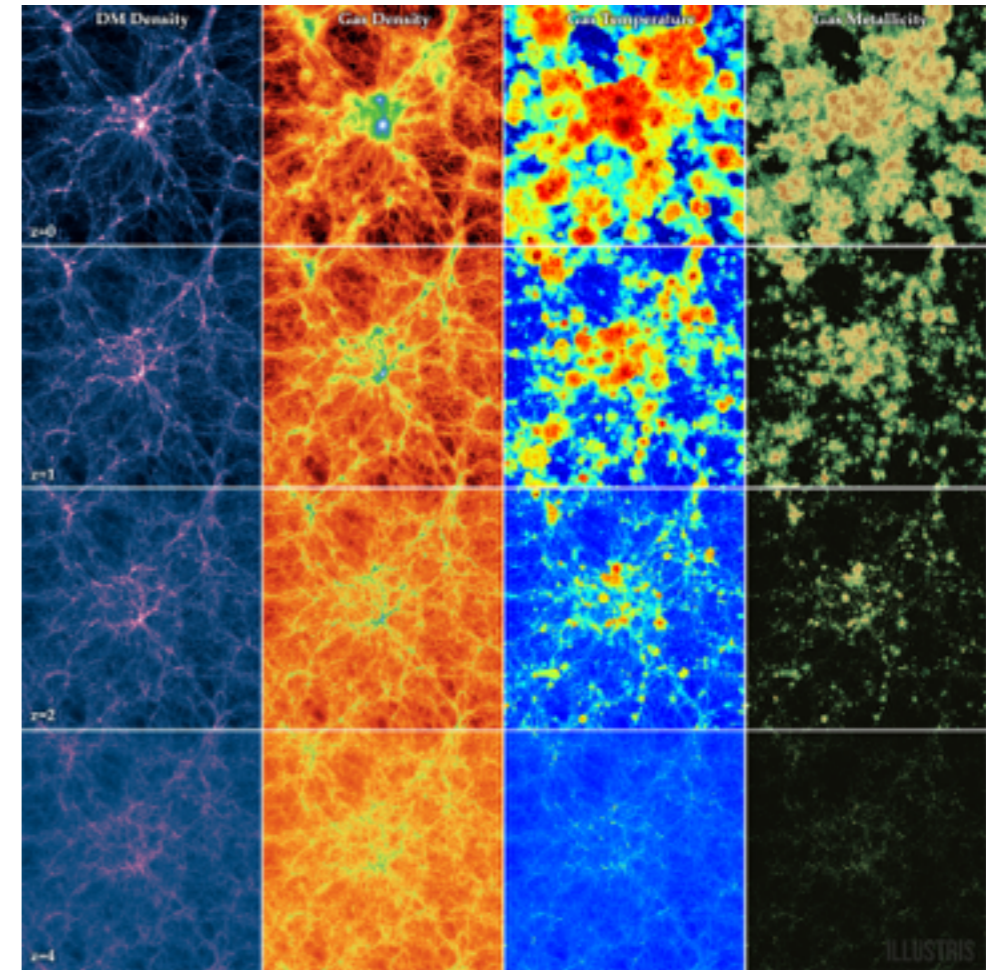
- CMB'nin neredeyse eş-sıcaklıkta olması, en büyük ölçeklerde galaksilerin dağılımına baktığımızda, eş-yoğunlukta bir dağılım görmemizi gerektiriyor.
- Ve beklediğimiz üzere, teleskoplarla galaksi sayımı yaptığımızda, dağılımın ~ 300 milyon ışık yılından daha büyük ölçeklerde yaklaşık olarak eş-yoğunluklu olduğunu buluyoruz.



Teleskop ve simülasyon verisinde galaksi sayımı

Peki evren nasıl bugünkü halini aldı?

- Genç halinin aksine, evren bugün galaksi süper-kümelelerinden nano-moleküllere dek her ölçekte yapılı, düşük entropili (düzenli) bir halde.
- Bunun sebebi, karanlık maddedeki yoğunluk farklarının büyüüp, yerçekimsel çöküş sonunda yıldız ve galaksileri oluşturması.
- Yıldız ve galaksi ölçeklerini yerçekimi kuvveti şekillendirirken, gündelik hayat ölçeklerindeki yapılanmadan ise elektromanyetik kuvvet sorumlu.



Evreni bir kutuya koyup evrimini incelediğimiz simülasyonlar

Yapılanma sürecinin son ürünü

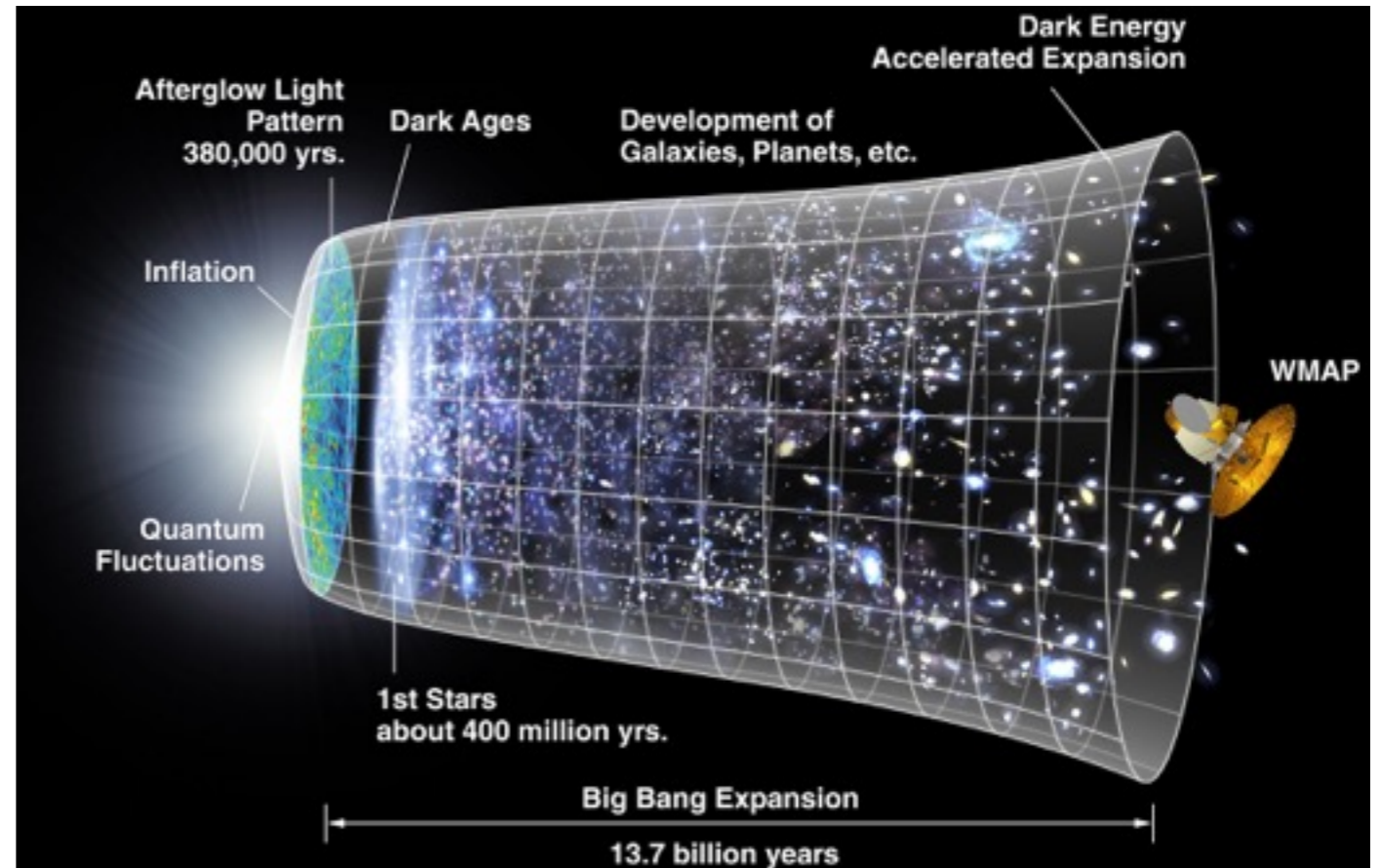
- Oluşan yıldızların çekirdeklerindeki nükleer süreçler de vücudumuzu oluşturan Karbon veya Oksijen gibi elementleri üretiyor.
- Yıldızların basınç dengeleri bozulduğunda meydana gelen patlamalarla uzaya dağılan ağır elementler, daha sonra yeni gezegenleri ve sonunda bizleri oluşturuyor.
- Bu nedenle bir bakıma hepimiz yıldız tozuyuz, ve, bir akıllı (?) yaşam örneği olarak, aynı zamanda evrenin **kendini algılama** yöntemiyiz.



DNA yapısı

Kozmik fotoğraf albümü

- Günümüzde gerek CMB gerekse galaksi ve galaksiler arasındaki gaz dağılımından edindiğimiz veriler, evrenin yaklaşık 380 bin yıl yaşındaki durumu ve son 13 milyar yıllık değişimi hakkında modellerimizi test edebiliyor.
- Fakat henüz evrenin ilk 800 milyon yıllık tarihi konusunda büyük bir gözlemsel boşluğumuz var.



Evrenin zamansal evrimi

Boşlukları doldurma çabası

- Bu karanlık çağı, galaksiler arasında bulunan Hidrojen atomlarındaki elektronların 21 cm dalgaboyunda yaptığı ışıma ve soğurmayı kullanarak yakın gelecekte aydınlatmayı hedefliyoruz.
- Bu fiziksel süreç ilk olarak Purcell ve Ewen tarafından 1951 yılında Harvard'da keşfedilmiş, 1952 yılındaki fizik Nobel'ine layık görülmüştü.



Ewen ve anteni

Kapatırken

- Bugün geldiğimiz noktada evren modelimiz tarih boyunca şüphe ve sorgulamanın süzgecinden geçebilmiş ve **henüz** elenmemiş fikirlerden oluşmakta.
- Bilimsel hipotez-eleme süreci, yaratıcı fikirler, artan gözlem ve ölçüm yetimiz ve objektif bir şekilde yanlışılanan modeller sayesinde ilerliyor.

Kapatırken

- Uzağa bakmak, geçmişe bakmakla eşdeğer! Bu nedenle gökyüzüne baktıkça evrenin Rosetta taşını okuyor, *kozmetik arkeoloji* yapıyoruz.
- Evrenbilim, temel fizik yasaları üzerine kurulu, matematik dili ile yazılan, bilimsel yöntem ile güncellenen ve evreni en büyük uzay ve zaman ölçeklerinde ifade etmeye çalışan bir araştırma alanı.
- Evrendeki nicelikler gündelik yaşantımızdakilere göre çok daha geniş bir mertebe aralığında.

Kapatırken

- Suda yüzen bir balığın sudan çıkarıldığında yaşayacağı boyutsal farkındalık hissi gibi, uzay üzerine düşünmek, insanı üzerinde yaşadığı iki boyutlu yüzeyden alıp, ona evrene bir başka boyuttan bakma fırsatı sunuyor.
- Bir bakıma Evrenbilim milyonlarca parçadan oluşan bir yapbozu bir araya getirmeye benziyor. Henüz başında olsak da, parçaların bir araya geldiğini görmek, hayata kozmik bir anlam yüklüyor.