

Kozmoloji

- **Kozmoloji**, Evren'in bir bütün olarak incelenmesi ile ilgilenen bir bilim dalıdır.

- Bu bilim dalı Evren'in kompozisyonu nedir?
- Yapısı nasıldır?
- Nasıl oluştu?
- Nasıl evrimleşiyor?
- Nihai sonu nedir?

gibi soruları içermektedir.

- Açıkçası, bu sorular cevap bulunması oldukça zor sorulardır. Binlerce yıldır dini ve felsefi kurgulara konu olan bu sorular, son yüzyılda bilimsel kozmolojinin gelişimiyle astronomik tartışmaların temel konusu haline gelmişlerdir.

- Kozmoloji oldukça geniş bir konudur ve büyük bir kısmı **muazzam zaman ve uzaklık ölçekleriyle** ilgilidir.
- Ancak kozmoloji, **büyük ölçekli fizik unsurlarının** yanı sıra atom altı parçacıkların fiziği aracılığıyla **çok küçük ölçekli fizik unsurları** ile de ilgilenmek zorundadır.
- Modern kozmolojiye kendine özgü özelliğini veren bu mikroskobik ve makroskobik yapıların kombinasyonudur.
- Bu kombinasyon aynı zamanda kozmolojinin **maddenin temel doğasına yeni bir ışık** tutmasına olanak verir.
- Bu durum kozmolojiye, modern astronomideki en zor sorulardan biri olan **Galaksiler nereden geldi?** sorusuna cevap vermek için de hayati bir rol vermektedir.

Evrenin Doğası

- Burada amaç, **Evrenin kökeni ve evrimi ile ilgili temel unsurları** anlamaktır.
- Bahsedilmesi gereken önemli bir nokta;
 - Evren ile ilgili tüm gözlemler Dünyadan veya Dünyaya yakın noktalardan gerçekleştirilmektedir.
 - Ancak astronomik gözlemleri yorumlarken, deneyimlerden yola çıkarak **Dünyanın ayrıcalıklı bir konumda olmadığı** kabul edilmelidir.
 - Ne Güneş sisteminin ne de Samanyolunun merkezinde bulunmaktayız.
 - Dolayısıyla, Evrenin de merkezinde olmadığımızı varsaymak gerekir.
- **Evrende ayrıcalıklı bir konumda olmadığımızı belirten varsayım** genellikle **Kopernik ilkesi** olarak anılmakta olup genellikle gözlem verilerinin yorumlanmasında başvurulur.
- Örneğin, uzak galaksilerin her yönde bizden uzaklaştığı düşünülürse;



Kopernik ilkesi gözlemlerden yola çıkarak bizim genişleyen bir Evrenin sabit merkezinde olma ayrıcalığına sahip olmadığımızı, ancak uzakta bulunan galaksilerin uzaklaşmasının Evrendeki herhangi bir tipik noktadan gözlemlenecek olan kozmik genişlemenin doğası olduğunu söylemektedir.

Evrendeki Madde

- Evren ile ilgili en belirgin gerçeklerden biri Evrenin madde içeriyor olmasıdır.
- Biz insanlar; gözlediğimiz gezegenler, yıldızlar, nebulalar ve galaksiler gibi maddeden oluşmaktayız.
- Tüm bu görünen cisimler temel olarak karşı yüklü elektronlar ve çekirdeklerden oluşmaktadır.
- Kendimizin ve Dünyanın çoğunun olduğu gibi bazı durumlarda, elektronlar ve çekirdekler bir araya gelerek elektriksel olarak nötr olan atomları meydana getirmektedirler.
- Ancak görünen maddenin büyük bir kısmı örneğin yıldızlarda olduğu gibi plazma halindedir. Plazma bir bütün olarak elektriksel olarak nötr kalmasına rağmen, elektronlar ve çekirdekler birbirlerinden ayrılmış ve uzaktırlar.
- Görünen madde atomlardan veya plazmadan oluşan büyük yığınlar halinde nerede bulunursa bulunsun, kütleleri çoğunlukla çekirdeği oluşturan protonlar ve nötronlarla açıklanmaktadır, çünkü bu parçacıklar onlara eşlik eden elektronlardan çok daha kütlelidirler.

Soru: Elektron, proton ve nötronun kütleleri sırasıyla,

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg},$$

$$m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg ve}$$

$$m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg'dır.}$$

Buna göre

$$m_p/m_n,$$

$$m_p/m_e \text{ ve}$$

$$m_n/m_e \text{ oranlarını hesaplayınız.}$$

Kabaca bir helyum atomunun ne kadarlık bir kütle kesri çekirdekte bulunan nötron ve protonlara dayandırılabilir?

Cevap: Oranlar;

$$m_p/m_n = 0.9988,$$

$$m_p/m_e = 1837 \text{ ve}$$

$$m_n/m_e = 1839 \text{ tur.}$$

- Helyum çekirdeği 2 proton ve 2 nötrondan oluşmaktadır. Helyum atomu ise 1 çekirdek ve 2 elektron içermektedir.

- Dolayısıyla proton ve nötronlara dayandırılacak çekirdek kütle kesri:

$$(2m_p + 2m_n) / (2m_p + 2m_n + 2m_e) = 6696 / 6698 = 0.9997$$

- Daha önce gördüğümüz üzere **proton ve nötron, baryonlar** adı verilen bir temel parçacıklar ailesinin üyeleridir.
- **Baryonik madde** terimi kütlenin temel olarak baryonlara dayandırıldığı tüm formlardaki maddeyi tanımlamak için kullanılmaktadır.
- **Tüm bildik atomik ve moleküler gazlar, sıvılar, katılar, bunların kimyasal kompozisyonları ile yıldızlarda, nebula ve galaksilerde bulunan tüm plazmalar** baryonik madde örneklerindedir.
- Yıldızlar, nebula ve galaksilerin kimyasal kompozisyonlarının analizleri, baryonik maddenin **en yaygın biçiminin hidrojen plazması, ikinci en yaygın formunun ise helyum plazması** olduğunu göstermektedir. Başka önemli baryonik madde formları olmasına rağmen, Evrendeki baryonik maddenin **kabaca %75'inin hidrojen çekirdekleri ve %25'inin de helyum çekirdekleri** halinde bulunduğu söylenebilir.

Soru: Evrendeki baryonik maddenin %75'inin hidrojen ve %25'inin helyum olduğu kabul edilirse, Evrendeki hidrojen ve helyum çekirdeklerinin görelî sayıları ne olur? Özellikle, her bir helyum çekirdeği için kaç hidrojen çekirdeği olması beklenir?

Cevap: m_h ve m_{he} çekirdek kütlelerini ve n_h ile n_{he} ise çekirdeklerin sayı yoğunluğunu gösterebilir. Buna göre;

$$m_h * n_h / m_{he} * n_{he} = 75/25 = 3$$

Eğer $m_{he} = 4m_h$ ise;

$$n_h / 4n_{he} = 3 \text{ veya } n_h / n_{he} = 12.$$

Yani, her bir helyum çekirdeği için 12 hidrojen çekirdeği olmalıdır.

- Evrende çok sayıda ışık yayan yıldız, nebula ve galaksi bulunduğu için **Evrenin büyük miktarda baryonik madde içerdiği** söylenebilir.
- Ancak, yapılan birçok gözlem aynı zamanda Evrende çok miktarda ışık yaymayan ve varlıkları sadece çekim etkilerinden tespit edilen **karanlık maddenin** var olduğunu göstermektedir.
- Karanlık maddenin **bir kısmının ışık yaymayan baryonik karanlık madde** olması beklenmektedir.
- Ancak bunun **çoğunun baryonik olmadığı** ve bu baryonik olmayan karanlık maddenin en azından **yoğunluk açısından Evrendeki en baskın madde formu** olduğu düşünülmektedir.
- Kozmolojik gözlemler, baryonik olmayan karanlık maddenin ortalama yoğunluğunun baryonik maddeninkinden 5-6 kat daha fazla olduğunu göstermektedir.

Evrendeki Işınım

- Evrenle ilgili diğer bir önemli unsur onun gerçekte elektromanyetik ışınım ile dolu olmasıdır.
- Uzak galaksiler ve kümelerle ilgili bilgileri bu cisimlerde üretilen ve Dünyadan tespit edilene kadar uzayda yol alan elektromanyetik ışınımı (temel olarak radyo dalgalar, mikrodalgalar, kızılöte ışınım, görünen ışık, ultraviyole ışınım, x ışınları ve gamma ışınları) gözleyerek elde etmekteyiz.
- Doğrudan yapılan bir gözlem sadece Dünyaya doğru seyahat eden birçok ışınım olduğunu göstermektedir.
- Ancak, Kopernik ilkesi Dünyanın Evrende herhangi özel bir yere sahip olmadığını, Evrendeki her bölgenin kendi kozmik çevresinden ışınım aldığını ve Evrenin aslında bu ışınlarla dolu olduğunu söylemektedir.
- Elektromanyetik ışınımın karakteristik özelliklerinden bir tanesi onun dalgaboyudur (λ).
- Gözlenen herhangi bir ışınımın önemli bir özelliği ise ilgili ışınımın ait herhangi bir dar dalgaboyu aralığında saniyede birim alan başına iletilen enerji miktarını belirleyen tayfsal enerji dağılımıdır (λF_λ).

- Uzaydan Dünyaya ulaşan ışınım genellikle Güneşten gelmektedir ve bu ışınım da görünen ışık baskın durumdadır.
 - Ancak, görünen ışığın çevremizdeki bu baskın rolü Güneşe olan yakınlığımızın bir sonucudur.
 - Gözlemler, bir bütün olarak **Evrende ışınımın tayfsal enerji dağılımının mikrodalga ışınım tarafından baskın olduğunu göstermektedir.**
 - Bu ışınım radyo ve kızılöte dalgalar arasındaki dalgaboyu aralığını kapsamaktadır.
 - Mikrodalga ışınımının hakimiyeti şekilde gösterilmekte olup farklı dalgaboylarında galaksi dışı arka fon ışınımının tayfsal enerji dağılımı verilmektedir.
-
- **Bu arka fon ışınımının** herhangi bir tanımlanmış kaynaktan gelmediği ve Evrenin herhangi bir yerinde de benzer bir arka fon gözleneceğinden **evrensel olduğu** düşünülmektedir.
 - Diyagramda arka plan ışınımının evrensel olarak egemen bir formunu temsil eden en yüksek pik mikrodalga bölgededir.
 - Arka plan ışınımının bu katkısı genellikle **kozmetik mikrodalga arka fon** (CMB) olarak adlandırılmaktadır.
 - CMB'nin genel özelliklerinin ölçümleri **büyük patlamayı, kozmetik evrimin en iyi desteklenmiş teorisi** olarak belirlemek için büyük önem teşkil etmektedir.

Evrenin Tekdüzeliliği (Homojenliği)

- Başımızı kaldırdığımızda gördüğümüz çatı, tavan, hava ve uzay vs. ile ayaklarımızın altında bulunan zemin, bina temeli ve Dünyanın vs. birbirinden farklı olduğu açıktır.
- Bu durum, en azından yerel olarak Evrenin homojen olmadığına dair bir kanıt sağlamaktadır.
- Ancak, yakın çevreye odaklanmak yerine kozmologların “tipik” olarak değerlendirdikleri, Evrenin yeteri kadar geniş bir bölgesi dikkate alınmalıdır.
- Bu bölge, aralarında voidlerin bulunduğu birkaç süper kümeyi içerecek kadar geniş bir bölge olarak tanımlanabilir.
- Böyle bir bölge birkaç yüz Mpc çapında olabilir ve Evrenin gözlenebilir kısmının toplam hacminin milyonda birini temsil edebilir.
- Kozmologlar böyle bir bölgenin Evrenin herhangi bir bölgesiyle oldukça benzer olduğunu düşünmektedirler.
- Yani, günümüzdeki Evrende, tipik olarak yeteri kadar geniş olarak tanımlanan herhangi iki bölge göz önüne alınırsa bu bölgelerin aynı ortalama yoğunluğa, basınca, sıcaklığa, vb. sahip olacağı görülür.
- Dolayısıyla, eğer yeteri kadar geniş büyüklük ölçekleri düşünülürse Evrenin homojen olduğu görülür.

- Evrenin geniş ölçekli homojenliğine olan inanç son yıllardaki çalışmalarla artmıştır.
- Çünkü, bu çalışmalar büyük ölçekte Evrenin her yönde oldukça benzer olduğunu ortaya koymaktadır.
- Bu durum **galaksilerin geniş ölçekli dağılımında** da açıkça görülmektedir.
- Ancak, daha iyi bir kanıt gökyüzünün tüm bölgelerinden eşit yoğunlukta geldiği gözlemlenen **kozmetik mikrodalga arka planı** ile sağlanmaktadır.
- **Bizim konumumuzdan gözlemlendiğinde geniş ölçekli Evrenin her yönde aynı olduğu olgusu ile ayrıcalıklı bir konuma sahip olmadığımızı belirten kopernik ilkesi birleştirildiğinde, geniş ölçekli Evrenin her konumdan her yönde aynı görünmesi gerektiği sonucu çıkmaktadır.**
- Yani, belirli bir yer ve zaman için aynı ve homojen olmalıdır.
- Galaksilerin kırmızıya kayma gözlemleri, geniş ölçekte bunların gerçekten homojen olarak dağıldığını göstermektedir.
- Dünyanın bir tarafındaki galaksilerin diğer tarafındaki galaksilere göre daha fazla kümelenmiş olması söz konusu değildir.
- Onlarca veya yüzlerce Mpc ölçeklerinde kümelerin ve süper kümelerin oluştuğuna dair işaretlere rastlanmaktadır ancak daha büyük ölçekte yapıların var olduğuna dair bir işaret yoktur.

- Samanyoluna en yakın galaksiler esasen galaksimizin etrafında dönen uydular olarak görünen cüce galaksilerdir.
- En yakın büyük spiral galaksi, Andromeda galaksisi, aslında bize doğru yaklaşmaktadır.
- Uzayın derinliklerine bakıldığında bütün uzak galaksilerin dünyadan uzaklaşan bir hız bileşenine sahip olduğu görülmektedir, ki bu galaksi tayflarındaki kırmızıya kaymadan ortaya çıkarılmaktadır.
- Bu durum, Evrenin bir bütün olarak genişliyor olduğunu göstermektedir.
- Hubble yasalarıyla ifade edilen bu genel genişleme, **Hubble akımı** olarak adlandırılır.
- Galaksiler, çekimsel olarak etkileşim halinde bulduklarından ve yakın galaksiler ile yerel etkilerden tedirgin edilecekleri için Hubble akımını takip etmek adına uygun cisimler değildir.
- Bu yerel tedirginlikler kendilerini Hubble akımına göre hareketler şeklinde göstermekte olup, galaksilerin **özgün hareketleri**'ni açıklamaktadır. Bunlar, kırmızıya kayma-uzaklık grafiğinin mükemmel düz bir çizgi olmamasının bir sebebidir.

- **Kozmik genişlemenin güncel oranı Hubble sabiti** ile ölçülmektedir.
- Bu nedenle, Evrenin homojenliği Hubble sabitinin, ölçüldüğü yerden bağımsız bir değere sahip olan evrensel bir sabit olması gerektiğini ifade etmektedir.
- Ancak hatırlatmak gerekir ki, kozmik genişlemenin homojenliği, genişleme hızının zaman içinde sabit olduğu anlamına gelmemektedir.
- $z = 0.2'$ den büyük olan değerlerdeki kırmızıya kayma ve uzaklık ölçümleri için uzak galaksilerdeki tip Ia süpernovalarının kullanılmaya başlanmasıyla, milyarlarca yıl içinde kozmik genişlemenin hızındaki değişikliklerin Hubble yasasından tespit edilebilir ölçüde sapmalara neden olduğu görülmüştür.
- Yüksek kırmızıya kaymalardaki sapmalar, kozmik genişlemenin zamanla yavaşlaması gerektiği düşünüldüğü için şaşırtıcı olmamıştır.
- Ancak, yapılan çalışmalar kozmik genişleme hızının aslında en azından birkaç milyar yıldır artmakta olduğunu göstermektedir.
- Kozmik genişlemenin hızlanması kozmolojide büyük bir etki yaratmıştır.
- Bu durum, madde ve ışınımın dışında en azından başka bir etkinin esas olarak kozmik genişleme oranını belirlediğini işaret etmektedir.
- Bu etkinin sorumlusu olarak, **homojen olarak dağılmış bir karanlık enerji** veya **evrensel olarak etkili bir kozmolojik sabit** başı çeken adaylar arasında gösterilmektedir.

Soru: Evrenin Őu anki durumuyla ilgili 4 ana unsurdan gerekli ise detaylar vererek bahsedin.

Cevap:

- Evren madde içermektedir. Madde esas olarak baryonik olmayan karanlık bir maddedir. Bu madde, %75'i hidrojen ve %25'i helyumdan meydana gelen baryonik maddeden oluşmaktadır.
- Evren ışınım içermektedir. IŞınım esas olarak kozmik mikrodalga arka plan ıŐınımıdır.
- Evren homojendir. Tipik olarak yeteri kadar geniş tüm bölgeler nerede bulunurlarsa bulunsunlar aynı ortalama yoğunluğa sahiptir. Bu, gözlenen ışınım ve madde dağılımlarıyla uyumludur.
- Evren geniŐlemektedir. $z = 0.2$ veya daha küçük değerler için genişleme, genişleme hızının Hubble sabiti ile verildiğini ıŐaret eden Hubble yasasıyla iyi bir Şekilde ifade edilmektedir. Galaksiler, geniş lekli Hubble akımına göre özgün yerel hareketlere sahip oldukları için bu geniŐlemeyi takip etmek adına yararlı cisimler değildir. Daha büyük kırmızıya kaymalardaki gözlemler kozmik genişleme hızının birkaç milyar yıldır hızlandığını göstermektedir.

Evren'i Modellemek

- Modern kozmolojinin en büyük ilgi alanlarından biri, Evrenin matematiksel modellerinin araştırılması ve formüle edilmesidir. Bunlar **kozmojik modeller** olarak adlandırılmaktadır.
- Genellikle, gözlenebilir nicelikler arasındaki genel ilişkileri gösteren birkaç denklem formundadırlar.
- Ancak detaylı niceliksel tahminler sağlamak için model kullanılmadan önce gözlem ile belirlenmesi gereken Hubble sabiti gibi parametreleri de içerirler.

Evrenin Tarihi Modelleri

Brahman (Bilinen ilk model)	Antik Hindu Rig-Veda; kozmoloji alanında bir eser.	Çevrimsel veya salınımlı. Zamanda sonsuz.	Evren genişleme ile toplam çöküş arasında döngü haline olan kozmik bir yumurtadır. Bindu olarak adlandırılan ve yoğunlaşmış bir formdan (bir noktadan) genişledi. Yaşayan bir varlık olarak evren doğum, ölüm ve yeniden doğumun ebedi bir döngüsüne bağlıdır ...
Pisagor kozmolojisi	Eski Yunan "Pisagorcular« M.Ö. 600-400		Pisagor'un takipçileri, Dünya'nın (ve gezegenlerin) Güneş'le birlikte, evrenin merkezinde bir "merkezi ateş" etrafında hareket ettiğine inanıyorlardı. Bu merkezi ateş yalnızca yansıyan ışıktan dolayı olarak görülebilmekteydi. Dünya her gün kendi ekseni etrafında dönmekteydi. Gezegenlerin hareketleri, müzik notalarının gibi sayısal harmoniklerle ilişkilendirildi.
Atomist Evren	Anaksagor (M.Ö. 500-428) ve sonra Epikuros	Büyükölük olarak sonsuz	Evren sadece iki şeyi içermekteydi: sonsuz sayıda küçük tohum veya atom ve sonsuz boşluk. Tüm atomlar aynı maddeden oluşmaktaydı, ancak boyutu ve şekli farklıydı. Nesnelere atom topluluklarından oluşmaktaydı ve atomlara geri dönüşmekteydiler. Leucippus'un nedensellik ilkesini içermekteydi.: "hiçbir şey rasgele olmaz; Her şey ihtiyaç ve neden olmaksızın gerçekleşir. " Evren tanrılar tarafından yönetilmemekteydi.
Stoic Evren	Stoicçiler M.Ö 3. & 4. Ada Evren		Evren sonsuzdu ve sonsuz bir boşlukla çevriliydi. Akıcı bir durumdaydı. Büyükölüğü pulsasyon halindeydi ve önemli olarak 20. yüzyılın büyük patlama modellerini hatırlatan kargaşa ve felaketlerden geçirdi.

Aristoteles Evreni	Aristoteles (M.Ö. 384-322)	Yer merkezli, Statik, kararlı durumda	Küresel ve mekansal olarak sonsuzluğa sahip bir kozmos. Küresel Dünya eş merkezli gök kürelerle çevrilidir. Evren sonsuzluk boyunca değişmeden var olur. Plato'nun geometrik olarak mükemmel yuvarlak yörünge idealine vurgu yapmaktadır. Hareketler akıllı ajanlar ("ruhlar") tarafından yaratılır ve kontrol edilir. Eter adı verilen 5. bir element içerir. Evrenin başlangıcı ve zamanın başlangıcı fikri reddedilir. Aristoteles'in kozmolojisi ilk "kararlı durum" evreni olarak göz önüne alınır.
Aristarkus Evreni	Samos (M.Ö. 280)	Güneş merkezli	Dünya her gün ekseninde döner ve yılda bir kez yuvarlak bir yörüngede güneş etrafında döner. Sabit yıldız küresi, güneş civarında merkezlenmektedir.
Batlamyus Modeli	Claudius Ptolemaeus (M.S. 2)	Yer merkezli	Evren sabit bir Dünya etrafında dönmektedir. Gezegenler, dairesel yörüngelerde hareket eder ve bu yörüngelerin merkezleri, Dünya'nın yakınında bir merkezde toplanmaktadır. Tüm zamanların en başarılı evren modeli. Sistem, gökbilimcilere gezegenlerin yerlerini oldukça iyi tahmin etmelerine izin verdi. En büyük kusuru, optik teleskopun icadından sonra Venüs'un evrelerindeki gözlemlenebilir değişiklikleri açıklayamamış olmasıdır.
Kopernik Evreni	Nicolaus Copernicus 1543	Güneş merkezli	Kopernik evreni aslında Güneş'i, sistemin merkezi haline getirmek için batlamyus düzeninin yeniden haritalandırılmasıydı. İdeal dairesel yörüngeleri muhafaza etti ve dış çemberlere ihtiyaç duymadı. Dünya'nın hareket ettiğini yakaladı! "

Durağan Newton modeli	Sir Isaac Newton (1642-1727)	Durgun (evrimleşen), kararlı durumda, sonsuz	Evrendeki her parçacık diğer her parçayı çeker. Büyük ölçekte madde eşit olarak dağılır. Kütle çekimsel olarak dengede fakat özünde dengesiz.
Hiyerarşik evren	Immanuel Kant, Johann Lambert 1700s	Durgun (evrimleşen), durağan durumda, sonsuz	Madde, daha büyük hiyerarşik ölçeklerde kümeleniyor; Fraktal bir evrenin oluşumu. Madde sürekli olarak geri dönüştürülüyor. En büyük kusuru: Kozmik bir merkezi vardır.

Kozmolojinin modern dönemleri 1917'de Einstein'ın "genel görelilik teorisinin kozmolojik değerlendirmeleri" başlıklı makalesiyle başlamaktadır. Bu makalede temel olan anlayış, uzay ve zamanın, yapılacak olan herhangi bir evren modelinde önemli bir rol oynaması gerektiğidir.

- Einstein'ın görelilik teorisinin ortaya çıkışından önce birçok fizikçi, uzay ve zamanın madde ve ışınım için basit bir taşıyıcı görevi gördüğü görüşündeydiler.
 - Buna göre, her madde veya ışınım parçacığı zamanın her anında uzaydaki bir noktayı işgal etmekteydi.
 - Dahası, uzay ve zamanın pasif olması gerekiyordu. Yani, fizik tiyatrosu için bir ortam sağlamalarına rağmen kendileri bu tiyatrodaki oyuncu değillerdi.
 - Uzay ve zamanın özelliklerinin buldukları madde ve ışınımın özellikleri tarafından herhangi bir şekilde etkilendiği düşünülmemekteydi.
- Einstein, bu görüşü sonsuza kadar radikal olarak değiştirdi. 1905 yılında özel görelilik teorisi (kütle çekimini ihmal eden genel teorisinin sınırlandırılmış bir hali) hali hazırda uzayın üç boyutunun ve zamanın tek boyutunun, genellikle **uzay-zaman** olarak adlandırılan birleşik dört boyutlu bir yapı oluşturmak üzere bir araya getirilmesi gerektiğini göstermişti.
- Ancak 1916'daki genel teori, bu dört boyutlu uzay zamanın geometrik özelliklerinin bulduğu madde ve ışınım tarafından etkilendiğini ve kozmolojik olarak önemli kütle çekim olgusunu açıklayabildiğini göstererek çok daha ileriye gitmiştir.

- 1668 yılında ortaya atılan Newton çekim teorisine göre, Dünya ve Güneş arasındaki etkileşim gibi kütle çekim olguları, iki cisim arasında ve arada bulunan uzay boyunca anında hareket eden bir kuvvet nedeniyle meydana gelmekteydi.

- Newton, bu kuvvetin gücünü ve yönünü bir cismin diğerine göre olan yer değiştirmesi ve cisimlerin kütleleri açısından tanımlayabilmiştir. Ancak, kütle çekim kuvvetinin kökenini açıklayamamıştır.

- 250 yıl sonra Einstein, kütle çekim kuvveti diye bir olgunun olmadığını belirtmiştir.
- Einstein'a göre, Güneş gibi bir cisim, içinde bulunduğu uzay-zamana etki ederek, genellikle bir **uzay-zaman eğriliği** olarak adlandırılan geometrik bir bozulmaya neden olur.
- Einstein'a göre **kütle çekimi uzay-zaman eğriliğinin bir sonucudur.**
- Bu durum **geometrik bir olgudur.**
- Genel görelilik ise Einstein'ın "geometrik" kütle çekim teorisidir.
- Şekilde uzay iki boyutlu bir yapı olarak ve kütle çekimi ise bu yapıdaki bir eğrilik olarak gösterilmektedir.

- Gözlemler genel görelilik teorisinin tahminlerini sürekli olarak desteklemektedir.
- Bunlara örnek olarak yıldız ışığının kütle çekimsel olarak sapması veya kütleli iki cismin birleşmesine işaret eden kütle çekim dalgaları verilebilir.

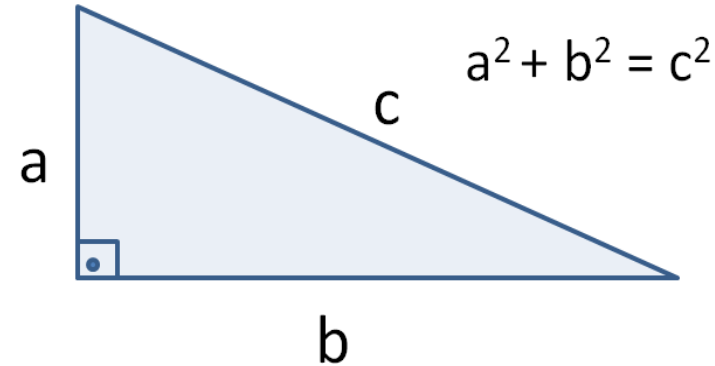
- Peki tüm bunların kozmolojiyle olan ilişkisi nedir?
- Genel göreliliğe göre herhangi bir bölgedeki uzay-zaman eğriliğini belirleyen şey basit olarak o bölgede bulunan **büyük kütleli cisimlerin varlığı değil bölge boyunca olan enerji ve momentum dağılımıdır.**
- Madde ve ışınım parçacıkları enerjiye sahiptir, bu yüzden de madde ve ışınım dağılımı bir enerji dağılımıyla ilişkilendirilebilmektedir.
- Momentum, enerji gibi başka bir fiziksel niceliktir ve eğer parçacığın kütlesi ve hızı biliniyorsa, madde veya ışınımın herhangi bir parçacığı ile ilişkilendirilebilmektedir.
- Kozmoloji açısından bakıldığında, madde ve ışınım Evren boyunca yayılmaktadır.
- Dolayısıyla bu madde ve ışınım ile ilişkili bazı büyük ölçekli enerji ve momentum dağılımının var olması da beklenmektedir.
- **Bu geniş ölçekli enerji ve momentum dağılımı, genel görelilik denklemleriyle birlikte uzay-zaman eğriliğinin geniş ölçekte matematiksel bir tanımının elde edilmesini sağlamaktadır. Bu ise rölativistik kozmolojinin temelidir.**

Özetle;

- Evren'in içindeki önemli malzemeler; uzay, zaman, madde ve ışınımdır.
- Einstein'ın özel görelilik teorisi, tüm maddenin ve ışınım içinde bulunduğu üç boyutlu uzay ve bir boyutlu zamandan oluşan dört boyutlu bir uzay-zamanın var olduğunu göstermektedir.
- Einstein'ın genel görelilik teorisi, uzay-zamanın geometrik özelliklere (eğrilik gibi) sahip olduğunu göstermektedir. Bu özellikler madde ve ışınım ile ilişkilendirilen momentum ve enerji dağılımı ile elde edilebilmektedir.
- Geniş ölçekli enerji ve momentum dağılımı genel görelilik ile birleştirilerek geniş ölçekte bir uzay-zaman için matematiksel bir model elde edilmesi mümkün olabilir.

Evren'in Uzay ve Zamanı

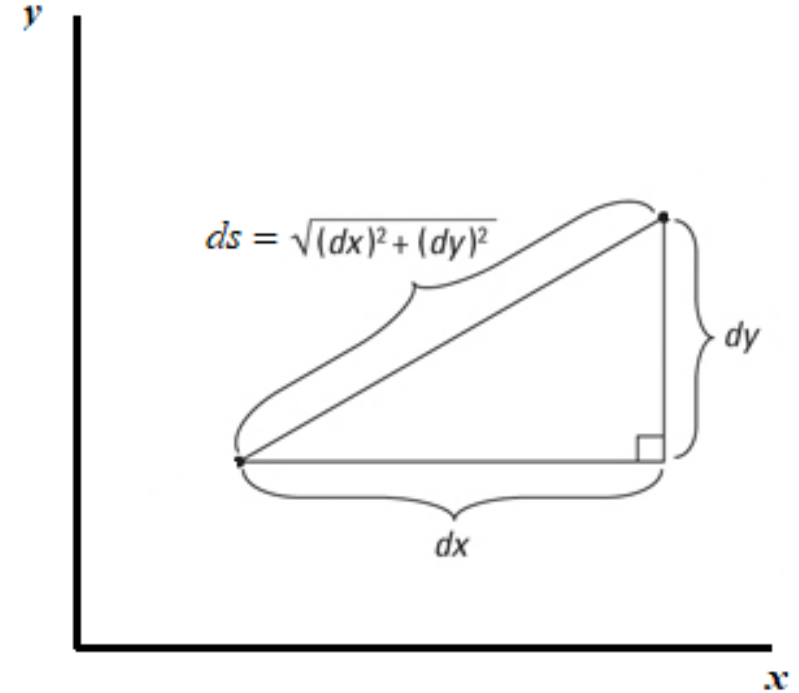
- Kozmologlar için uzayın tanımı esasen bir geometri meselesidir.
- Sözlüklere göre geometri, uzaydaki çizgiler, yüzeyler ve hacimlerin özellikleri ve ilişkileri üzerine yapılan çalışmadır.
- Uzaydaki cisimlerin özellikleri ve ilişkileri ile ilgili çalışmalar yaparak aslında uzayın kendisiyle ilgili bilgi edinilir.
- Geometri oldukça büyük bir konudur, ancak Gauss ve Riemann gibi 19. yy matematikçileri tüm geometriyi bir veya iki satırlık matematik ile özetlemenin yollarını bulmuşlardır.
- Özellikle Gauss, dik açılı üçgenler hakkında Pisagor teoreminin istisnasını fark ederek bu gelişmeyi başlatmıştır.
- Pisagor teoremine göre, **bir dik üçgenin uzun kenarının uzunluğunun karesi diğer iki kenarın uzunluklarının karelerinin toplamına eşittir.** Matematiksel olarak ifade edilirse, $c^2 = a^2 + b^2$



- Gauss, bu sonucun düşünölebilen **en küçük dik açılı üçgenlere uygulandığında, iki boyutlu bir düzlemin geometrisine ilişkin** diğer tüm bilinen doğruların matematiksel kanıtları için başlangıç noktası olarak kullanılabileceğini fark etmiştir.
- Dolayısıyla, eğer şekildeki dik üçgenin sonsuz küçük bir modeli hayal edilirse ve kenarlarını a, b, c yerine ds, dx ve dy birimleri kullanılarak üçgenin küçüklüğü gösterilirse, **iki boyutlu düzlem geometrisinin tamamı** açıkça tek bir ifadeyle gösterilebilir;

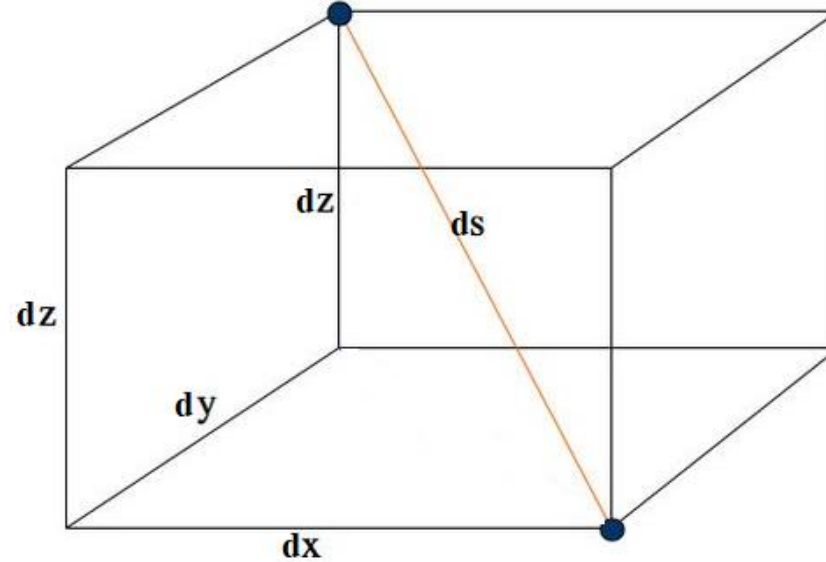
$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2$$

Burada, ds; x ve y koordinatlarının sonsuz küçük miktarlar olan dx ve dy ile farklılaştığı iki nokta arasındaki uzaklıktır.



- Yukarıda verilen denklem **iki boyutlu bir düzlemin geometrisini** ifade etmek için kullanılan anahtardır.
- Yine **bu denklem üç boyutlu uzayın geometrisini** anlatmak için de bir cevap önermektedir.
- Karşılıklı dikey eksenleri x, y ve z olan üç boyutlu bir koordinat sistemi kullanılarak uzayda herhangi bir noktayı tanımlanırsa, dx, dy ve dz sonsuz küçük koordinat farklarıyla ayrılan iki nokta arasındaki uzaklık ds, pisagor teoremin üç boyutlu bir genellemesiyle verilir;

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2$$



- $(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2$ denkleminin iki boyutlu geometri için bir temel sağlaması gibi bu denklem de üç boyutlu geometri için bir temel sağlamaktadır.
- Ancak, $(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2$ denklemi yalnızca düzleme uygulanması nedeniyle **düz bir yüzeyin geometrisini** tanımlamaktadır.
- Örneğin, şekilde gösterildiği gibi iki boyutlu eğri yüzeyler üzerine çizilen şekillerin geometrisini tanımlamamaktadır.

- Eğri bir üç boyutlu uzayın neye benzediğini anlamaya çalışmak oldukça zor bir iştir, şunu vurgulamak gerekir ki; düz bir üç boyutlu uzayda bildik geometrik sonuçlar doğruyken, eğri bir üç boyutlu uzayda aynı sonuçlar doğru olmayabilir.
- Örneğin, düz bir üç boyutlu uzayda herhangi bir üçgenin iç açıları toplamı 180° iken, eğri bir üç boyutlu uzayda bu doğru olmayabilir.
- Benzer şekilde, başlangıçta paralel olan iki düz çizgi düz bir uzayda paralel olarak devam ederken eğri bir uzayda bu şekilde devam etmez.

- Dolayısıyla, üç boyutlu uzaylardan bahsedilmesinin ardından dört boyutlu uzay-zamanın geometrisine geçilebilir.
- Burada yapılması gereken şey, düz bir uzay-zaman tanımı yapıldığına göre, $(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2$ denklemini, uzayda birbirinden oldukça küçük bir mesafede bulunan **noktaları** dikkate almak yerine uzayda iki komşu **olayı** dikkate alarak genelleştirmektir.
- Bu iki olay, **dx, dy ve dz sonsuz küçük miktarlarda hala konum bakımından farklılık gösterir.**
- Ancak, bu olaylar, meydana geldikleri zamanlar, **dt sonsuz küçük miktarda farklılık gösterecek şekilde de seçilebilirler.**
- **Kütle çekim etkilerinin dahil edilmediği** yani düz bir uzay-zaman açısından oluşturulan Einstein'ın özel görelilik teorisine göre, $(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2$ denklemi en uygun şekilde;

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2 - c^2(dt)^2$$

olarak genelleştirilmektedir. Burada c boşluktaki ışık hızı olup, görelilik teorisiyle birlikte keşfedilmiştir. Bu denklem **düz bir dört boyutlu uzay-zamanın (sıfır eğrilik) geometrisini tanımlamaktadır.**

Evrendeki Enerji ve Momentum Dağılımı

- Daha önce belirtildiği üzere, Evren'i ayrıcalıklı bir konumdan gözlemediğimizi ifade eden **Kopernik ilkesine** göre Evren her yönde aynı gibi görünmektedir yani **büyük ölçekte Evren her yerde aynı olmalıdır.**
- Kozmologlar bu büyük ölçekli tekdüzelik (uniform) varsayımını **kozmojoloji ilkesi** olarak adlandırmaktadırlar ve aşağıdaki şekilde belirtmektedirler;
- **Yeterince büyük ölçeklerde (yani birkaç yüz Mpc'lik alanların ortalaması) Evren homojen (yani her yerde aynı) ve izotropiktir (yani her yönde aynı).**
- Homojen ve izotropik teknik terimleri, bu noktaya kadar kullanılan tekdüzelik (uniformity) kavramını kesin olarak ortaya koymaktadır.

- Her iki terime de ihtiyaç vardır. Çünkü bir dağılımın izotropik olmadan homojen olması mümkündür. Örneğin, her yerde aynı yönde işaret eden homojen bir manyetik alanın olduğu bir Evren homojen olmasına rağmen izotropik olmazdı.

- Kozmoloji ilkesiyle uyumlu olan **en basit kozmoloji modellerinde**, Evren'in tamamen **tekdüze (uniform) bir gaz veya akışkan ile dolu** olduğu düşünölmektedir (bu kozmik akışkanda atomların eşdeğeri olarak süper kümeler düşünölebilir).
- Evrenin içeriğini basitleştirilmiş bir biçimde görmenin bir avantajı, gazın herhangi bir t zamanındaki halini açıklamak sadece ilgili zamanın **yoğunluğunu ve basıncını** belirlemeyi gerektirmektedir.
- Gazın bu iki özelliği sıcaklık gibi diğer tüm özellikleri belirler.
- Yoğunluk ve basınç genellikle ρ ve p ile gösterilmektedir.
- Ancak genişleyen bir Evrende yoğunluk ve basıncın zamanla değişmesi beklenmektedir.
- Dolayısıyla bu zamana olan bağlılık yoğunluk ve basıncı herhangi bir t zamanında $\rho(t)$ ve $p(t)$ şeklinde yazılarak gösterilebilir.
- Kozmolojik tartışmalar genellikle **basıncın önemsiz olduğu** varsayılarak basitleştirilir.
- Bir gazdaki atomların yaptıklarına benzer şekilde süper kümelerin çarpışmasına ve etkileşmesine ilişkin bir kanıt olmadığı için bu durum kozmik tarihin çoğunda makul bir varsayım olarak görünmektedir.

- Yukarda bahsi geçen basitleştirilmiş varsayımlardan yola çıkarak, bir kozmolog kolaylıkla **Evrendeki momentum ve enerjinin geniş ölçekli dağılımının matematiksel tanımını yapabilmektedir.**
- Bu enerji-momentum dağılımının matematiksel tanımıyla donatılan kozmologlar, genel görelilik denklemlerini **uzay-zamanının geniş ölçekli geometrisini belirlemek** ve böylece **kozmojik bir model oluşturmak** için kullanabilirler.