

A Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuation map showing temperature variations across the sky. The map is a complex, irregular shape with a mottled pattern of colors ranging from purple and blue to yellow and red, representing different temperature fluctuations. The text is overlaid on the central part of the map.

SU Lise Yaz Okulu

**Evrenin Geometrisi ve
Genel görelilik**

Göreliliğe Giriş

- Newton mekaniği bölgesel olarak çalışıyor (Güneş sistemi). Ama tüm evrenin nasıl hareket ettiğini bulmak istersek genel göreliliği kullanmak zorundayız.
- **Özel Görelilik ile başlayalım:**
 - Fizik kuralları birbirine göre sabit hızda hareket eden tüm gözlemciler için aynıdır.
 - Işık hızı, tüm gözlemciler için, tüm yönlerde, gözlemcinin hızına bağlı kalmaksızın, sabittir!
- İlginç ama açıklanabilir sonuçlar: gözlemciden gözlemciye değişen zaman aralığı ve uzunluk ölçümleri, bir gözlemci için aynı anda olan olayların başka gözlemci için aynı anda olmaması....
- **Newton'ın yaklaşımı alanlar kullanır, yani bir kütle anlık olarak sonsuza kadar etrafında bir kütleçekim alanı oluşturur. Ama biliyoruz ki özel göreliliğe göre bu imkansızdır.**

Uzay-zaman

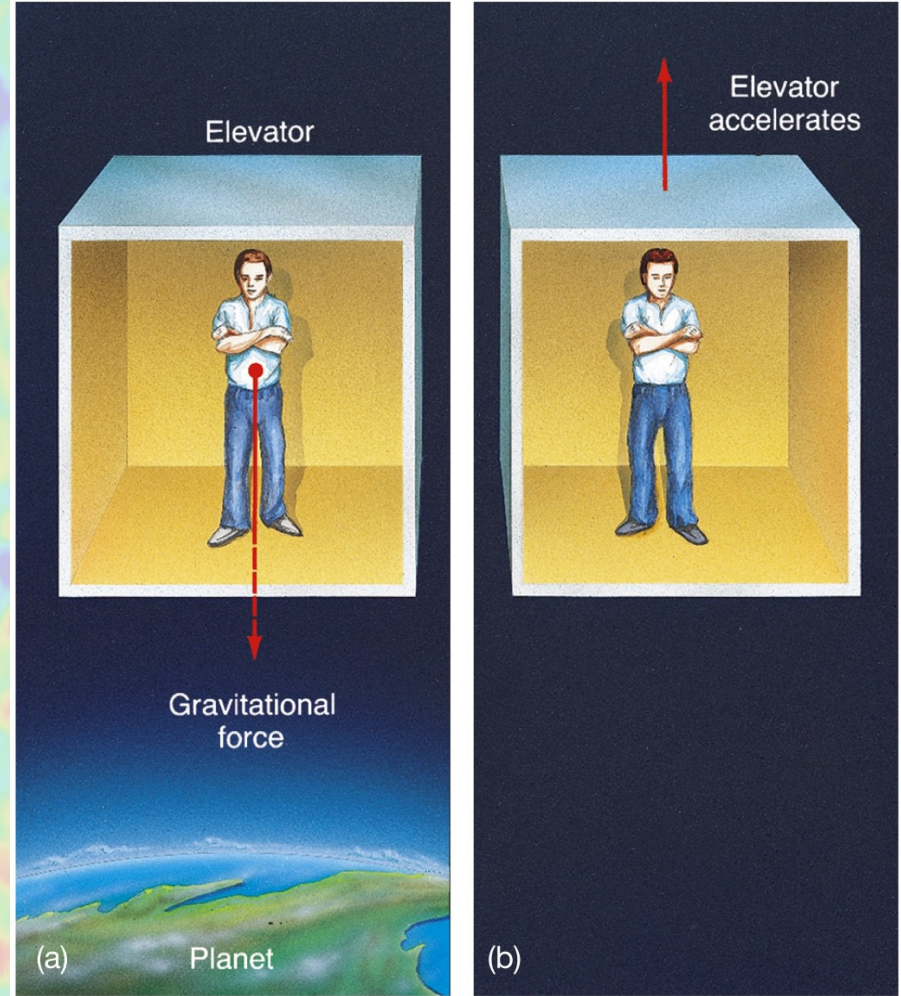
- Einstein'in özel göreliliği uzay ve zaman arasında kuvvetli, ama bazen bize anlaması zor gelen bir ilişki kurdu.
- Minkowski, zamanı 4. boyut olarak ele alırsak bize uzayda ve zamanda ayrı ayrı gibi gözükten olayların aslında sorun olmadığını, birbirine göre sabit hızda hareket eden gözlemciler için 4 boyutlu uzay-zamanda her zaman tek bir olay olduğunu gösterdi.
- Uzay-zaman matematiksel olarak çok faydalı bir yaklaşım olsa da, 4 boyutlu uzayı şekle dökebilmek çok zor olduğu için anlaşılması hep zor olmuştur. Bize kolay gelen uzay ve zamanı hep ayrı ayrı değerlendirmektir.

Genel Görelilik, genel prensipler

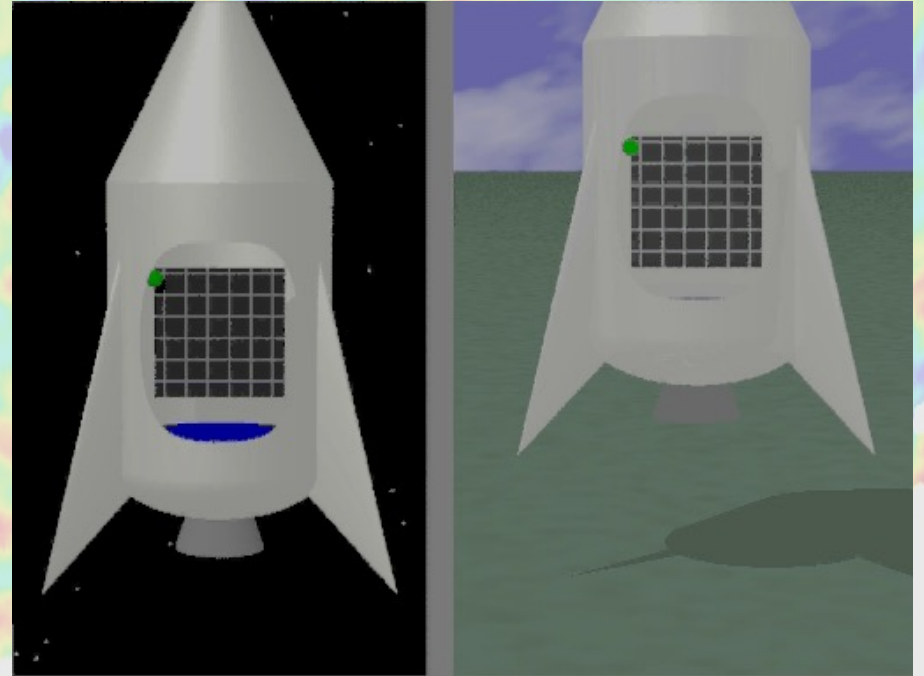
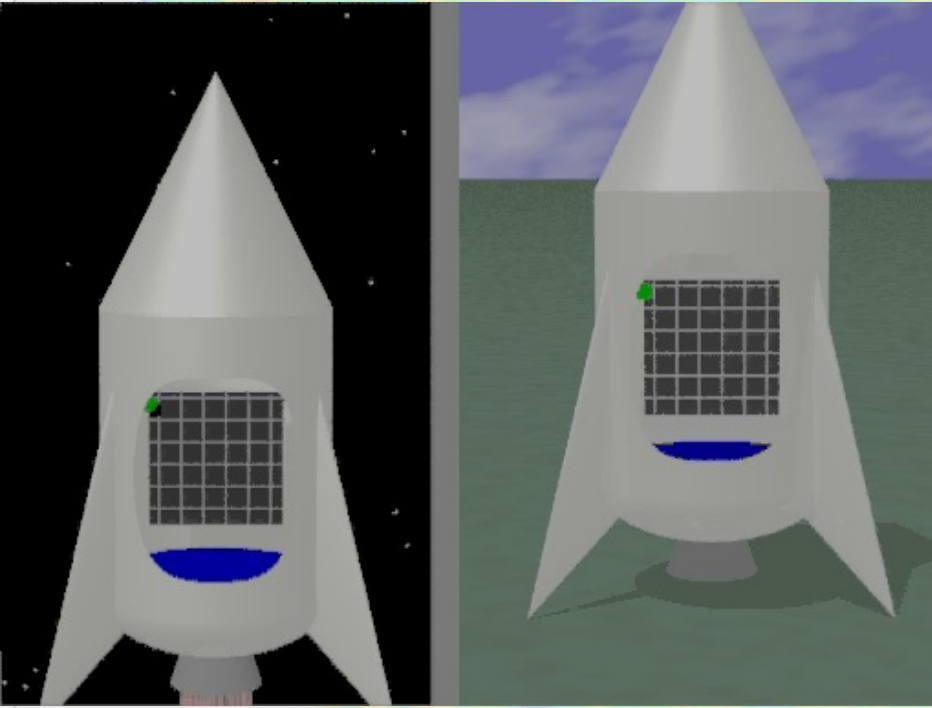
- İvmelenen sistemler: Özel görelilik sadece sabit hızlarla hareket eden sistemler için geçerlidir. İvmelenen sistemlerde çalışmaz.
- Kütle, gözlemciye göre değişebilir.
- Harekete karşı koyan kütle ile birbirlerini çeken kütle aynı kütledir.
- Tüm enerji alanlarına karşılık gelen kütle bulunabilir ($E=mc^2$).

Genel görelilik, eşitlik prensibi (postülası, önermesi)

- Eşitlik prensibi: ivmelenen bir koordinat sistemi ile kütleçekimi etkisi altındaki bir sistemi herhangi bir deney ile birbirinden ayırmak mümkün değildir.
- Bu durumda ışık da kütleçekim altında bükülmelidir.
- Kütleçekim kütlesi ile harekete karşı koyan kütle aynı kütledir.
- http://www.aliceinphysics.com/publications/principle_of_equivalence/tr/principle_of_equivalence.html

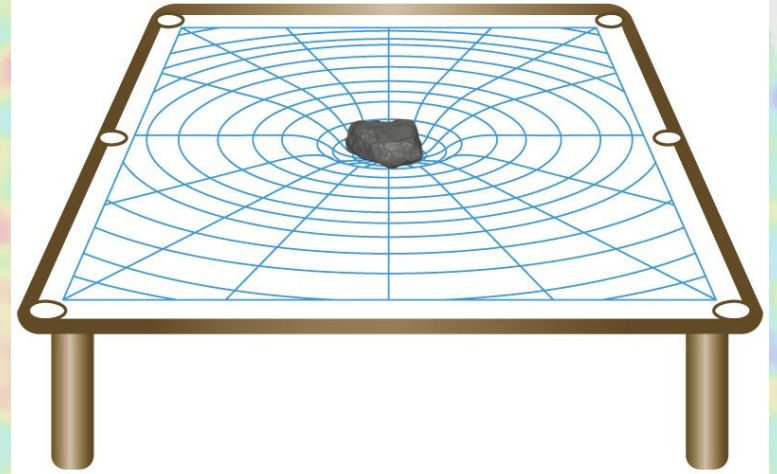


Eşitlik Prensipleri

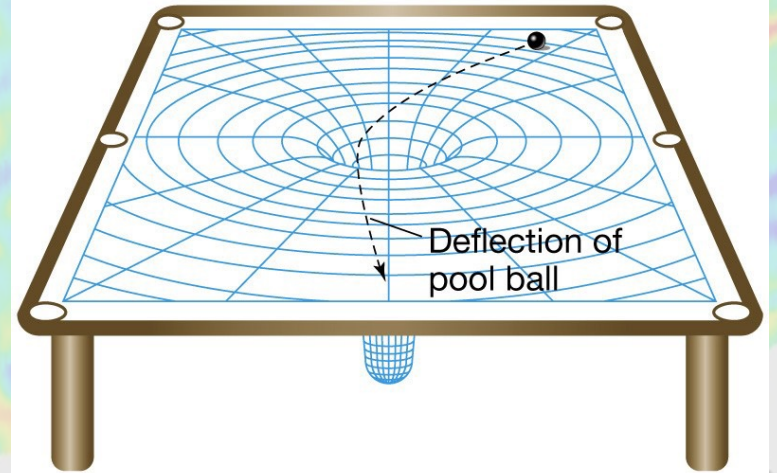


Uzay-Zamanın Bükülmesi

- Kütleçekim alanları ve kuvvetler üzerine hareketi incelemek yerine geometri kullanarak hareketi inceliyoruz.
- Kütle ve enerji uzay zamanı büküyorlar, ve diğer madde ve enerji formları geodezik denen iki nokta arasındaki en kısa yolları takip ediyorlar.
- John Archibald Wheeler: Kütle uzaya nasıl bükülmesi gerektiğini söyler, uzay da kütleye nasıl hareket etmesi gerektiğini....
- Newton fiziği düz bir geometri için ve $v \ll c$ için geçerlidir, ama eğik geometriler için geçerli değildir.

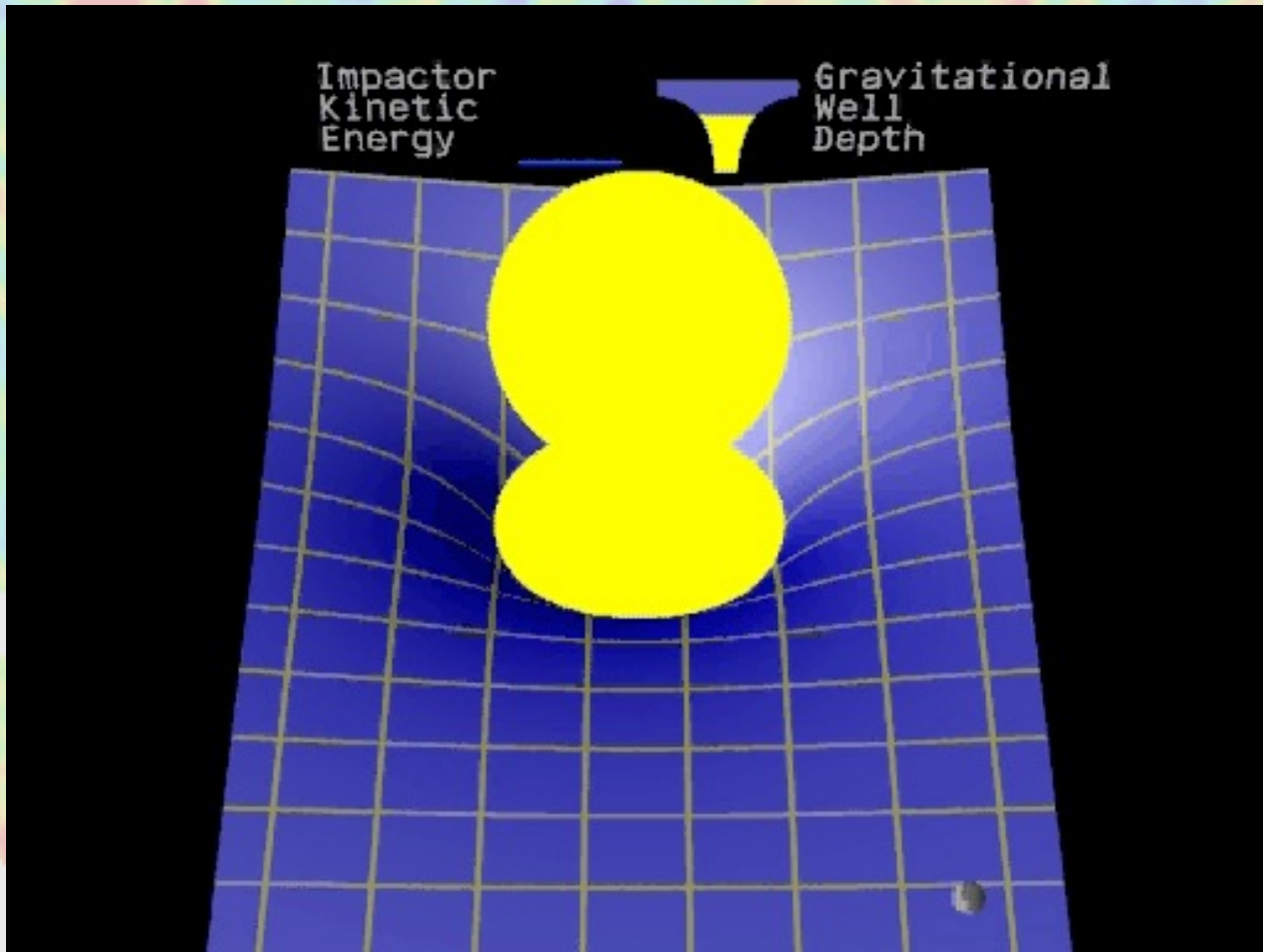


(a)



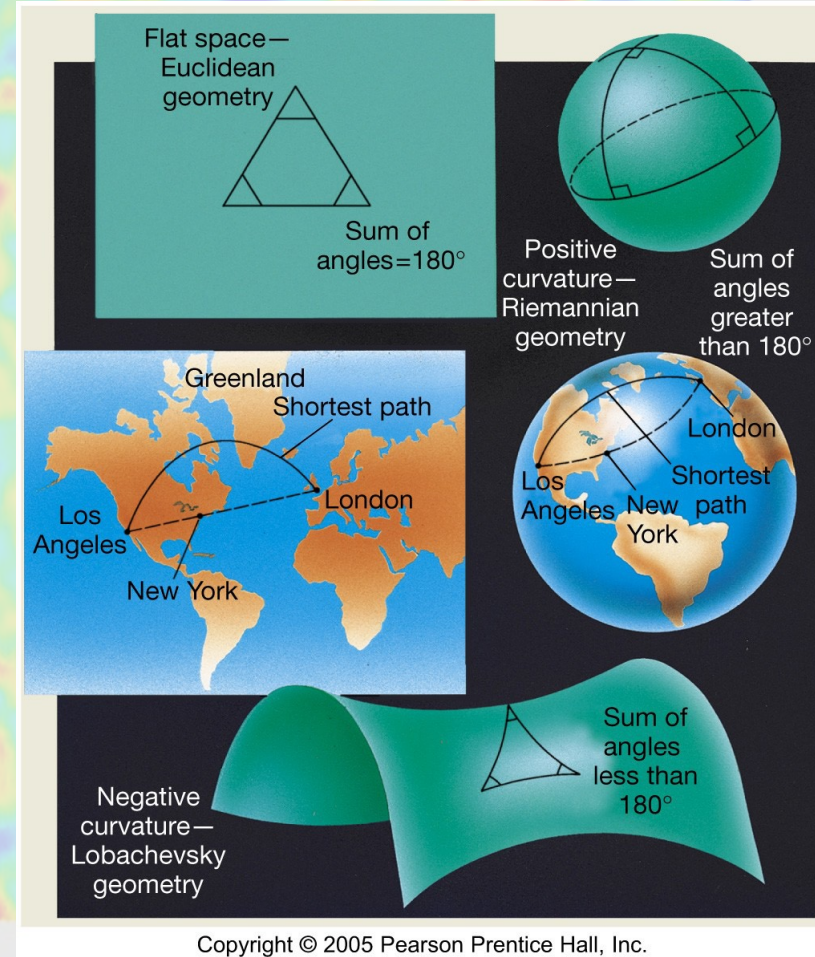
(b)

Uzay-zamanın Bükülmesi



Bükülmüş Uzay Zaman Ne Demek?

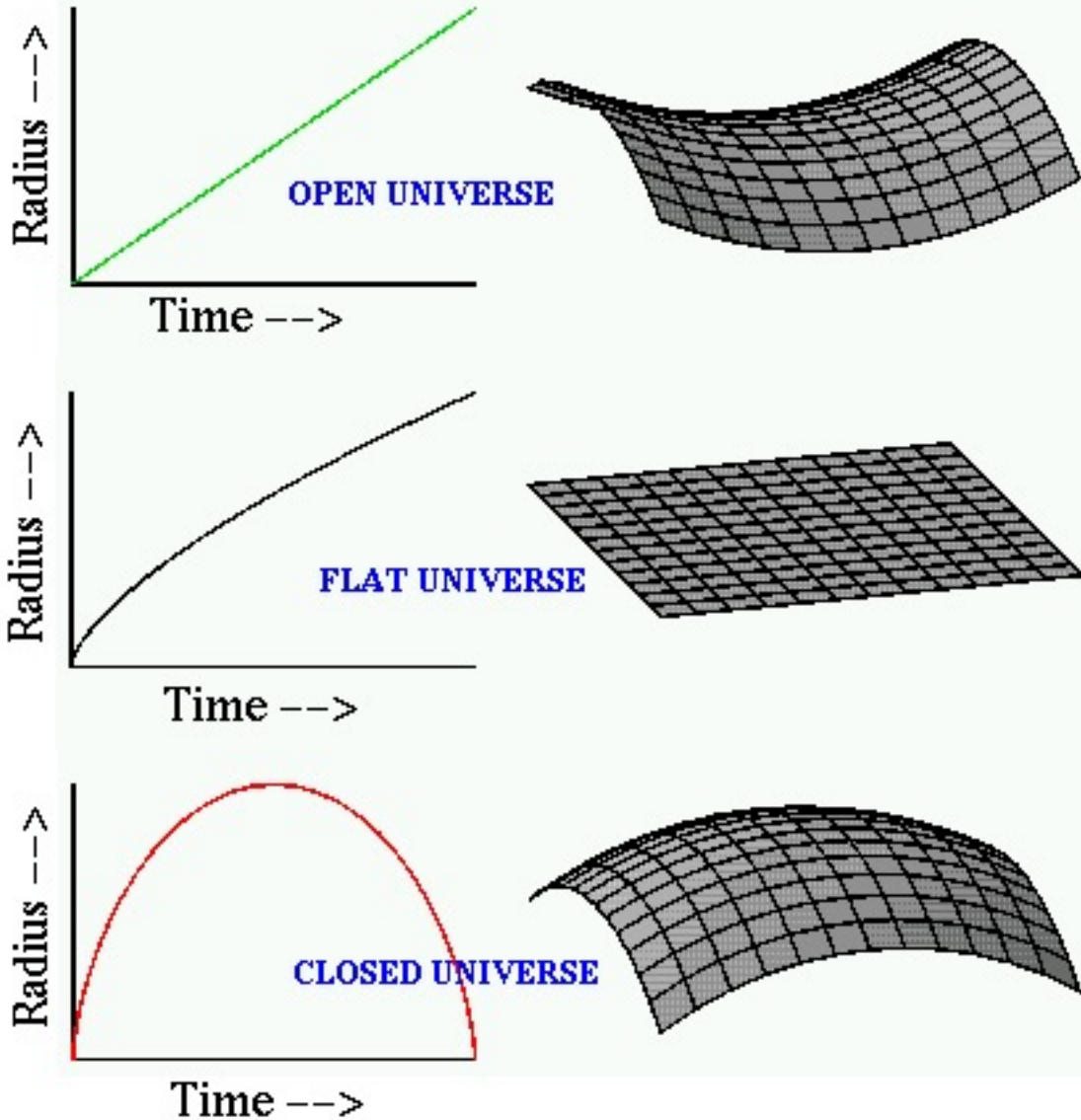
- Üç boyutlu ya da 4 boyutlu uzayın nasıl büküldüğünü göstermek imkansızdır... Ama iki boyutlu yüzeylerin 3. boyuta nasıl kıvrıldığını göstermek mümkündür.
 - Düz evren: Üçgenin iç açıları toplamı 180° . Paralel ışınlar kesişmezler.
 - Kapalı evren (pozitif bükülme) iç açılar $> 180^\circ$. Tüm büyük çemberler kesişir
 - Açık evren (negatif bükülme) iç açılar $< 180^\circ$.



Evrenin Geometrisi

- İki boyutlu bükülmüş bir yüzeyi tanımlamak için 3 parametre gerekir. Bükülmüş 4 boyutlu bir yüzey için 10 parametre gerekir, bunların hesabı da tensör aritmetiği ile yapılır.
- Ama evren homojen olduğu için evrenin her yanında tek bir bükülme olmalıdır, yani evren ya düz, ya açık ya da kapalıdır. Bu geometriyi de yoğunluğun kritik yoğunluğa oranı belirler.
- $\Omega_o = \rho_{\text{evren}} / \rho_{\text{kritik}}$
 - $\Omega_o > 1$ Kapalı
 - $\Omega_o < 1$ Açık
 - $\Omega_o = 1$ Düz. Diğer iki olasılık sonsuzken, düz olma olasılığı ancak bir koşulda gerçekleşir.

Evrenin Geometrisi



$\rho_{\text{evren}} < \rho_{\text{kritik}}$ $\Omega_0 < 1$ Açık

$\rho_{\text{evren}} = \rho_{\text{kritik}}$ $\Omega_0 = 1$ Düz

$\rho_{\text{evren}} > \rho_{\text{kritik}}$ $\Omega_0 > 1$
Kapalı

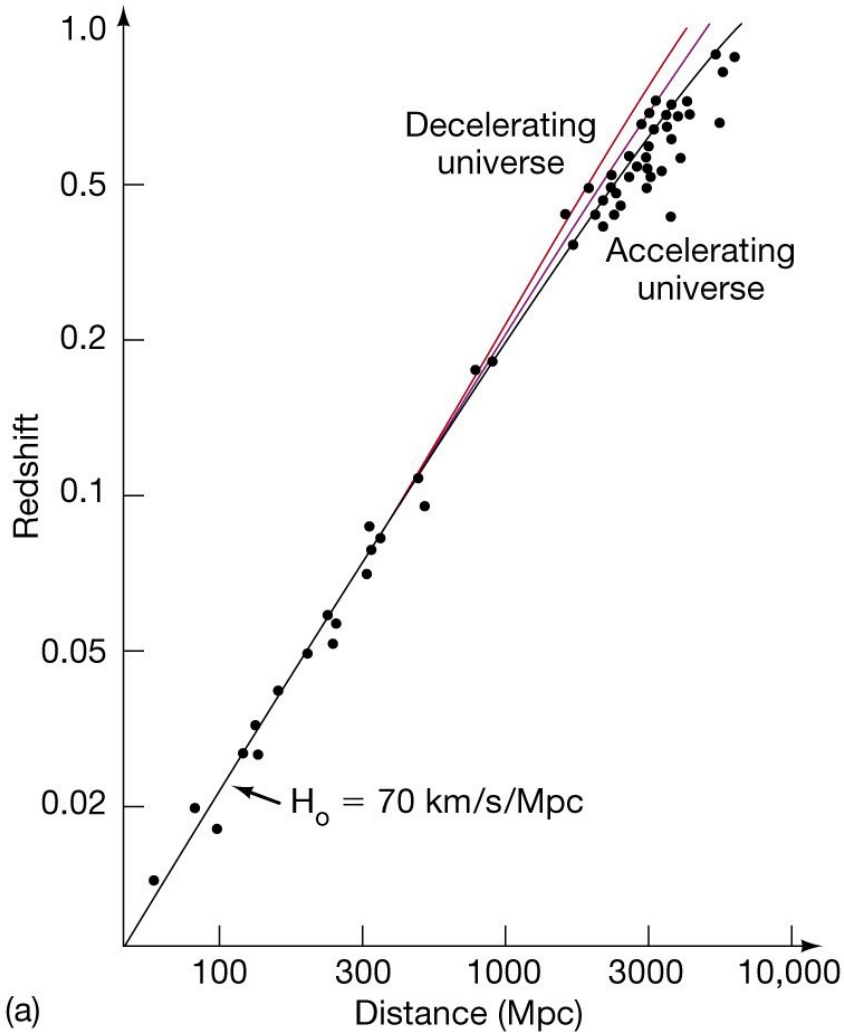
Evrenin Yoğunluğu

- Evrenin yoğunluğunu hesaplamak için sadece bildiğimiz kütleyi değil, karanlık maddeyi, ışığı, hatta kütleçekim dalgalarının enerjisini bile hesaba katmak zorundayız.
 - Görünen madde: 10^{-28} kg/m³, çok küçük bir yoğunluk.
 - Karanlık madde görünen maddenin 10 katı bile olsa $\Omega_{DM} \sim 0.2 - 0.3$
 - Işık: maddeye göre daha da küçük yoğunluk (daha sonra konuşacağız)
- Bütün kütle-enerji bu saydıklarımızdan oluşuyor ise evrenin sonsuza kadar genişlemesi gerekir.

Evrenin Hızı

- Evren açık da olsa, kapalı da olsa beklenen, genişlemenin yavaşlamasıdır.
- Bu yavaşlamayı nasıl ölçebiliriz? Eğer evren devamlı yavaşlıyorsa geçmişte gökadarlar daha hızlı hareket ediyor olmalı. O zaman bizden uzaktaki nesnelere Hubble Kanunundan hesaplanana göre daha da kırmızıya kaymalı...
- Bunu ölçmenin yolu ise uzaklığa karşı kırmızıya kaymayı ölçmek – Süpernova 1a....

Evrenin Genişlemesi Hızlanıyor!!!!



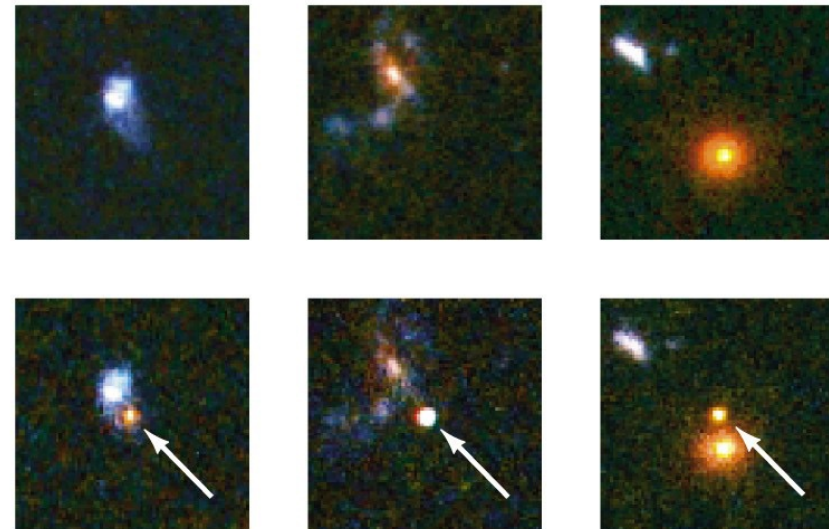
Supernova Cosmology Project

<http://www-supernova.lbl.gov/public/>

High Z supernovae team

<http://cfa->

www.harvard.edu/supernova/HighZ.html



(b)

2011 NOBEL FİZİK



Saul Perlmutter



Brian P. Schmidt



Adam G. Riess

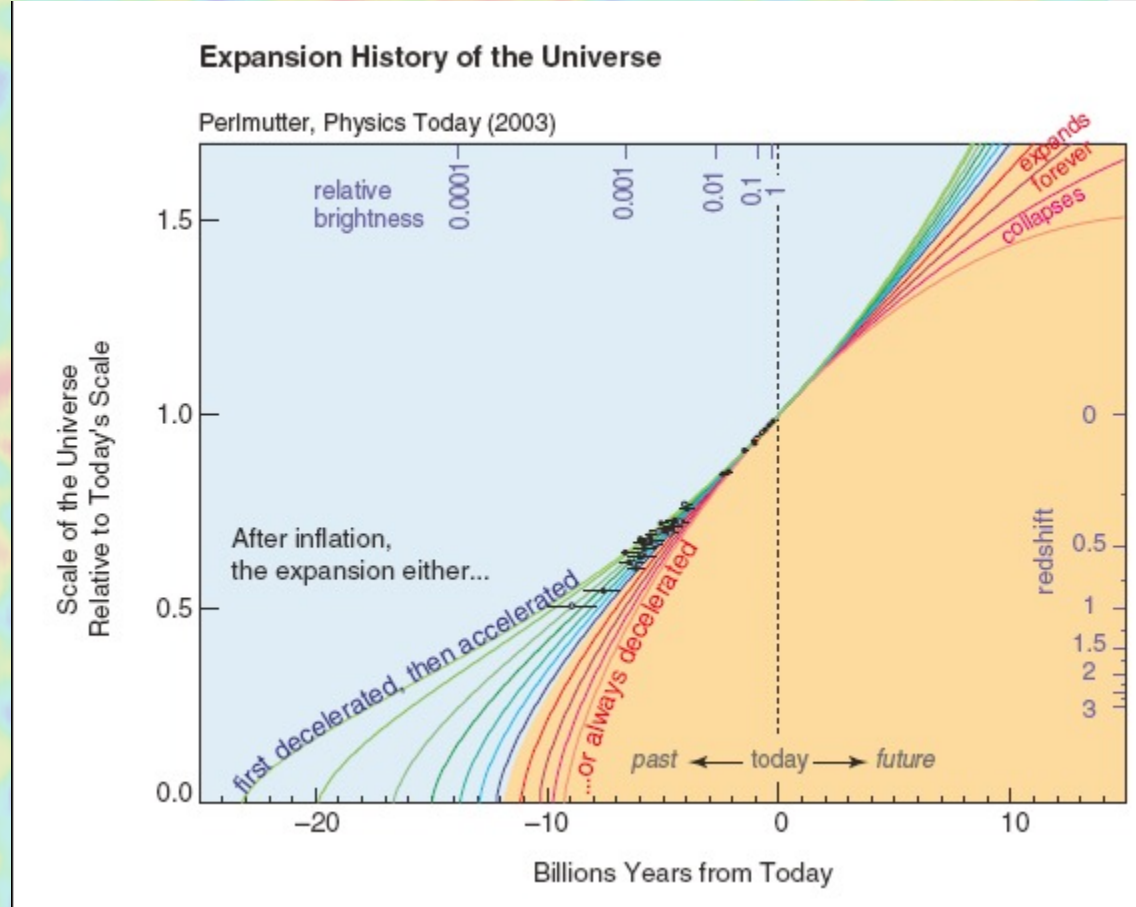
Süpernova 1a gözlemlerini kullanarak evrenin ivmelenecek genişlediğini buldukları için 2011 Nobel Fizik ödülü bu arkadaşlar arasında paylaştırılmıştır.

Gerçekten Sürpriz mi?

- Einstein denklemlerinin çözümü boşluk enerjisini temsil eden bir integrasyon sabiti barındırır. Evrenin durağan olduğunu düşünen Einstein bu terimi evrenin çökmesini engellemek için kullandı.
- Hubble evrenin genişlediğini gösterince evrenin durağan olmadığı ortaya çıktı. Einstein'da 'en büyük saçmalamam' diye nitelendirdiği bu "kozmozolojik sabiti" 0'a eşitledi.
- Birçok kuramsal fizikçi şimdi karanlık enerjinin yoğunluğunun sabit olduğunu düşünüyor, ve evrenin evrimini kozmozolojik sabit kullanarak modelliyor.
- Ama fiziksel aslının ne olduğunu hala bilmiyoruz..... Kuantum mekaniğinin öngördüğü potansiyel ile ölçülen kozmozolojik sabit birbirinden çok çok farklı. Farklılığı belki süpersimetri ya da sicim teorisi çözecek....

Evrenin gemişı, geleceği ve kozmoloji sabiti

- Evrenin yaşı evrenin ivmelenmesine sebep olan karanlık enerji miktarına kritik olarak bağlı. Evrenin geleceği de aynı şekilde...
- Eğer evren ivmelenmeseydi evrenin yaşı içindekilerin yaşından küçük çıkardı!!!!



Kozmik Kompozisyon

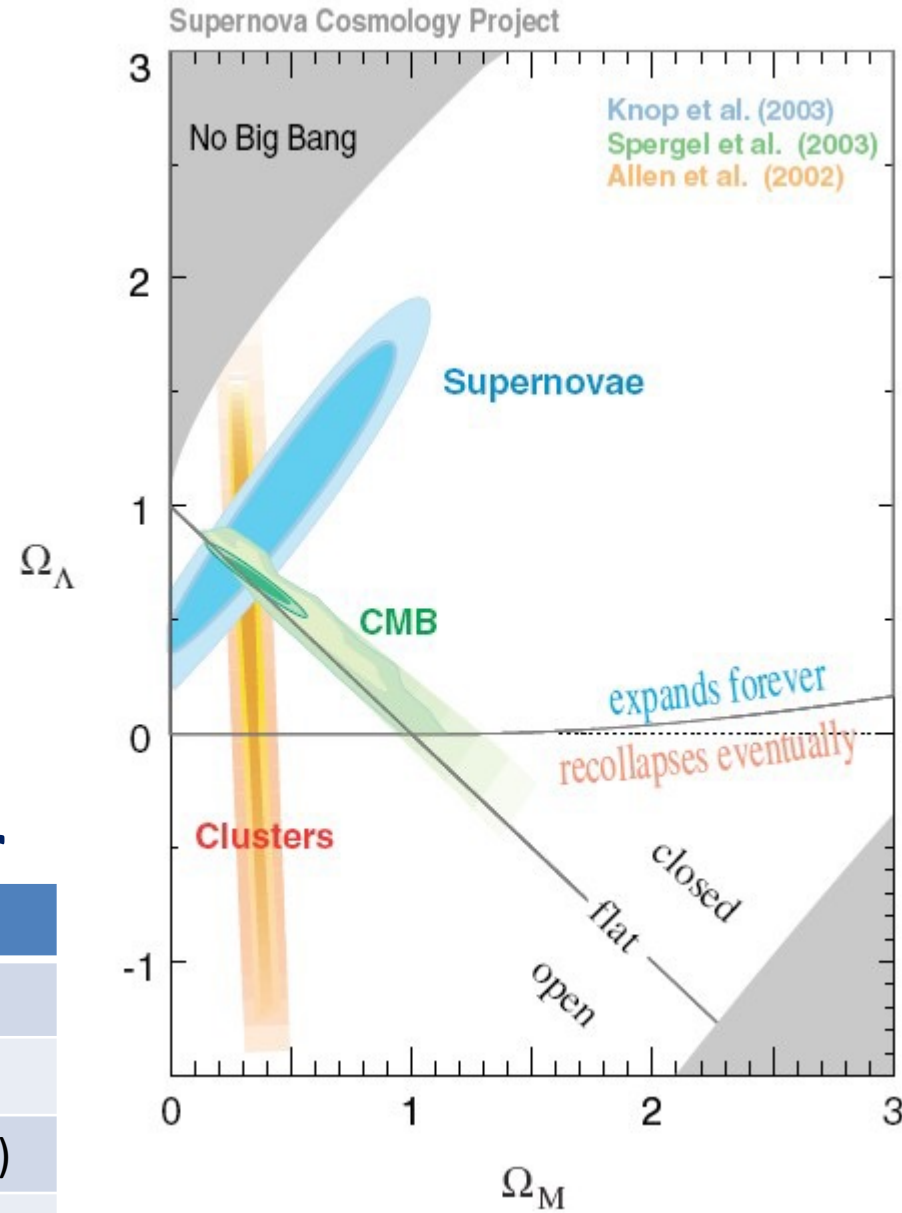
- Görünen Madde: 5 % Ω_0
- Karanlık madde ~ 25 % Ω_0
- Karanlık enerji: karanlık enerji kütleçekimin tersi gibi çalışsa da bir enerjisi, dolayısıyla bir kütlesi var. Onu da hesaba katmamız gerekir.
- Çeşitli yöntemlerle yapılan gözlemlerin sonuçları toplam kütle-enerji yoğunluğunun kritik yoğunluğa oranını 1'e yakın bir değer olduğunu gösteriyor, yani düz bir evren. Acaba bunun özel bir sebebi olabilir mi? Evrenimiz tam da bu özel duruma mı karşılık geliyor?

Ölçümler

- Süpernova 1a, mikrodalga fon ışınımı ve gökada kümeleri ile yapılan çalışmalar birleştirildiğinde evrenin düz ve sonsuza kadar genişleyeceği ortaya çıkıyor.

Planck uydusu + diğer ölçümler

H_0	67.74 ± 0.46 km/s /Mpc
Ω_Λ	0.6911 ± 0.0062 (karanlık madde hakim)
Ω_0	0.9992 ± 0.002 (düz evren)
ρ_b	$0.4181 \pm 0.0043 \cdot 10^{-27}$ kg/m ³ (normal madde)
ρ_{DM}	$2.228 \pm 0.038 \cdot 10^{-27}$ kg/m ³ (karanlık madde)
Yaş	13.799 ± 0.021 Gyr



Anket

- Şu ana kadar ders hakkında düşünceleriniz nedir?
- Geliştirilebilecek kısımlar var mı?
- Olmasa da olurdu diyeceğiniz kısımlar da oldu mu?
- Şu ana kadar anlamadığınız bir kısım varsa lütfen yazın...