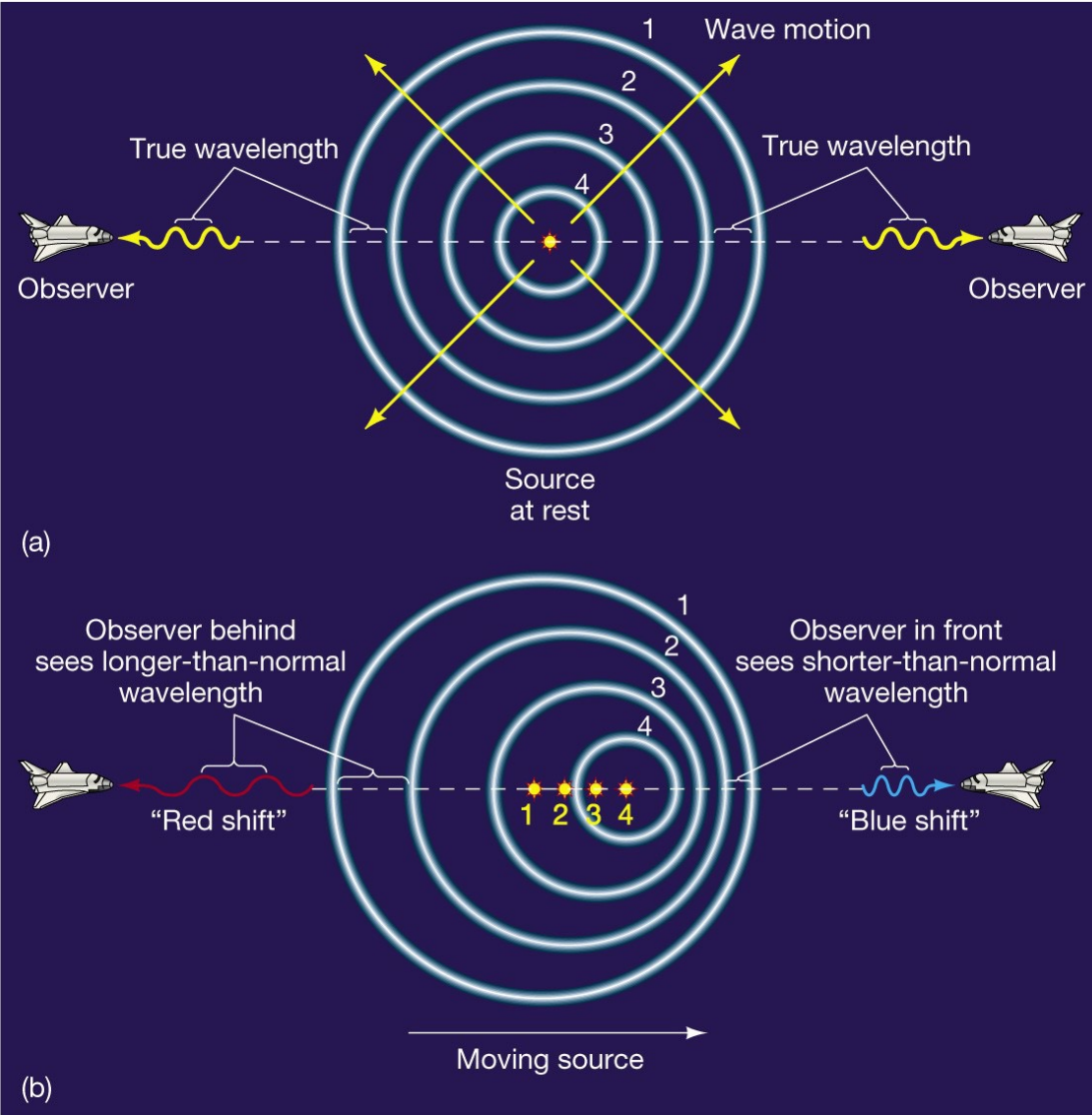


A Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuation map showing temperature variations across the sky. The map is a complex, multi-colored pattern of red, yellow, green, and blue, representing different temperature fluctuations. The text is overlaid on the map.

SU Lise Yaz Okulu

**Hubble Yasası,
Evrenin Genişlemesi ve
Büyük Patlama**

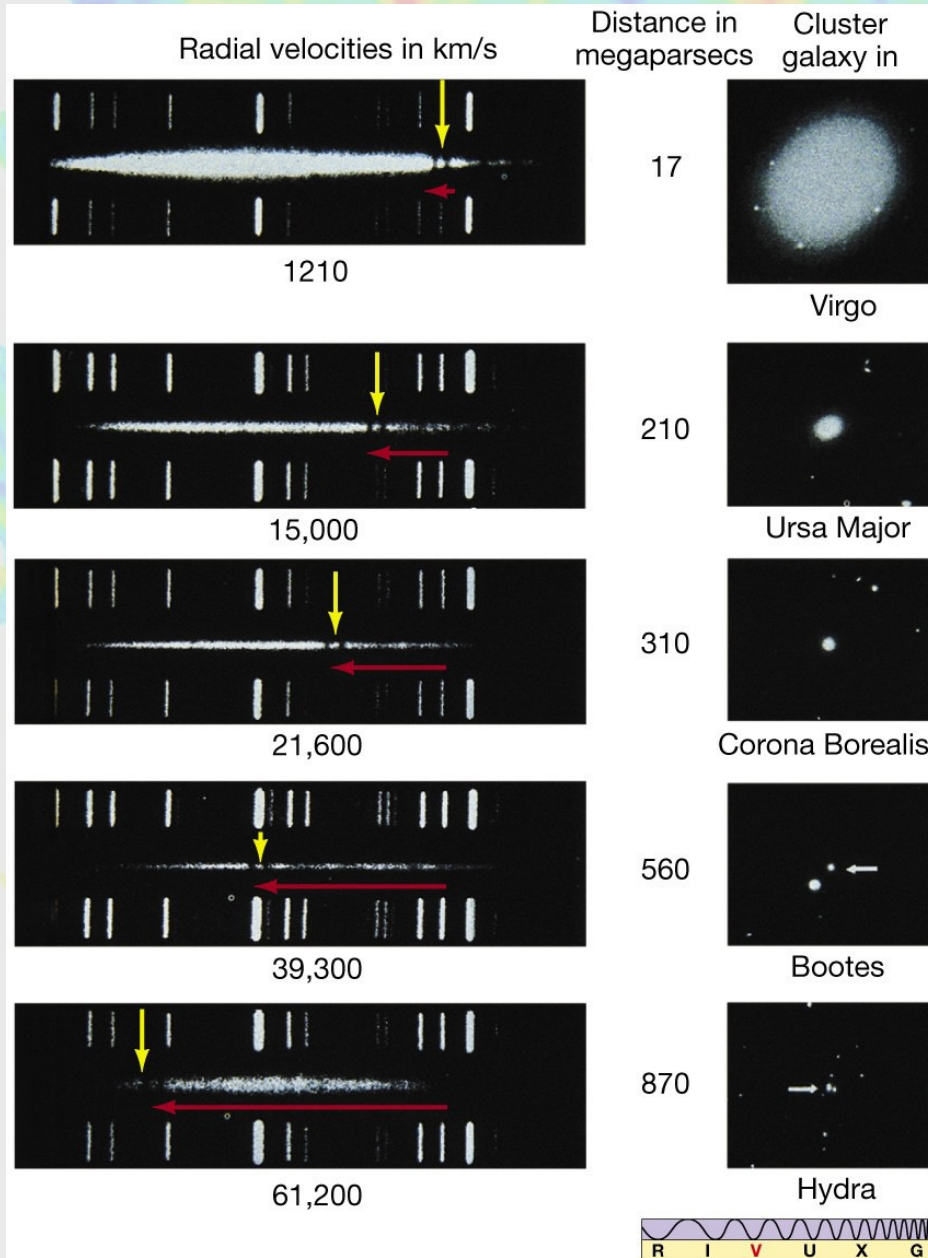
Doppler Etkisi



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

- Kaynak tarafından üretilen dalgaların tepe noktalarına bakalım. Ne kaynak, ne de gözlemci hareket ediyor olsun.
- $\lambda = v_{\text{dalga}} \cdot T$ (T=periyot, λ =dalgaboyu)
- Kaynağı v_{kaynak} hızıyla hareket ettirelim. Bir periyot T kadar süre geçtiğinde dalga dalgaboyu kadar ilerleyecektir. Aynı sürede kaynak $v_{\text{kaynak}} \cdot T$ kadar ilerleyecektir. Dolayısıyla kaynağın önündeki bir gözlemci için dalgaboyu(=iki tepe arasındaki mesafe) azlacaktır.
- $\lambda' = v_{\text{dalga}} \cdot T - v_{\text{kaynak}} \cdot T$
- $\lambda' / \lambda = 1 - v_{\text{kaynak}} / v_{\text{dalga}}$ **Maviye kayma**
- Arkadaki gözlemci için dalgaboyu artacaktır:
- $\lambda' / \lambda = 1 + v_{\text{kaynak}} / v_{\text{dalga}}$ **Kırmızıya kayma**
- <https://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/doppler.htm>

Tüm Gökadalar Kırmızıya kayıyor

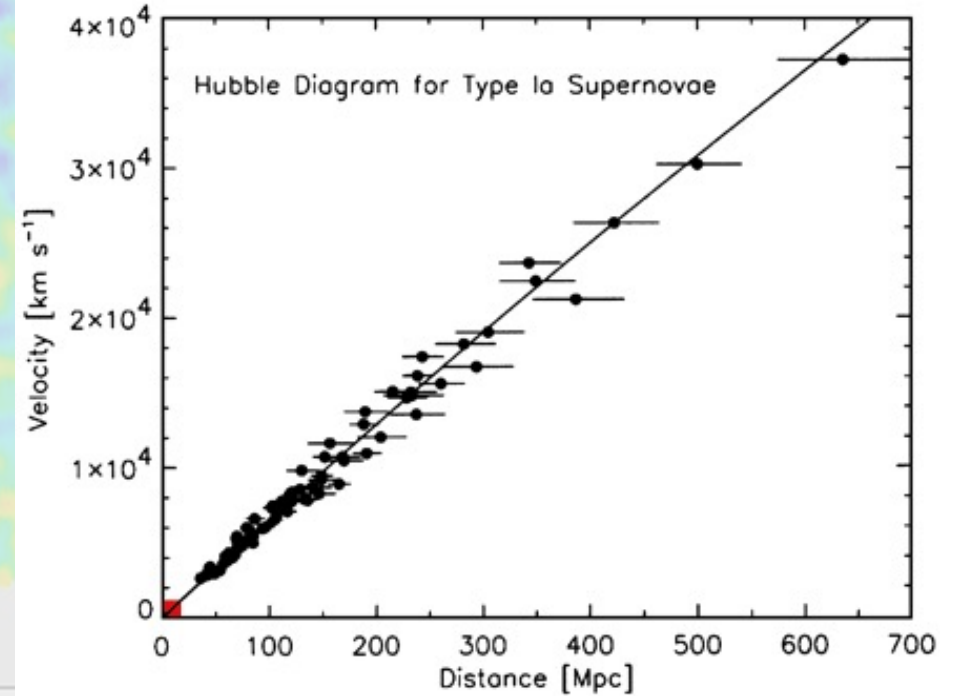
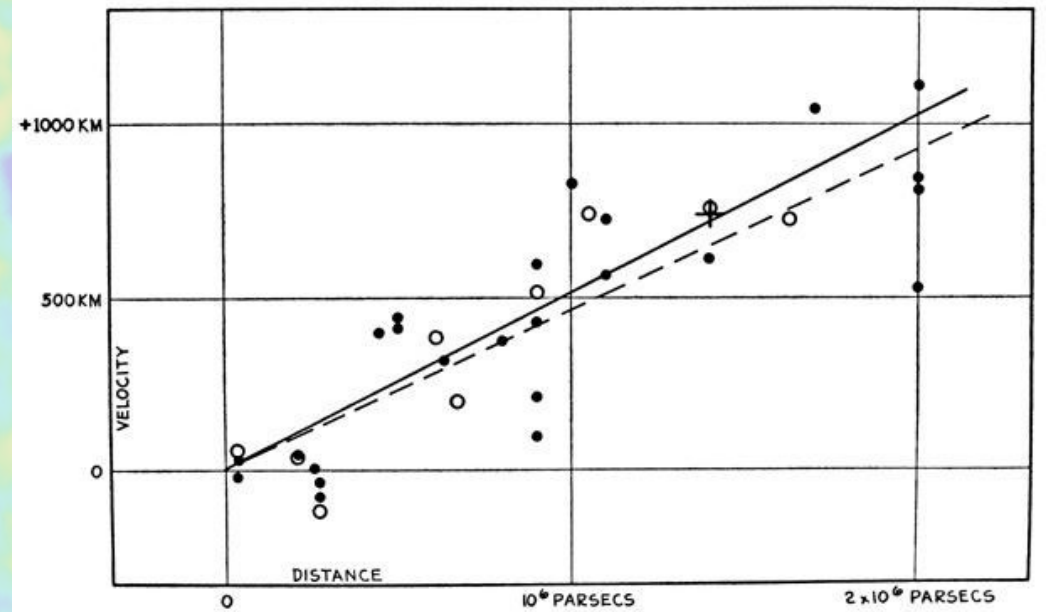


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

- Bir gökada kümesi içindeki gökadalara bakarsak gelişigüzel hareket ettikleri görülür.
- 1912'de astronom Vesto Slipher çeşitli kümelerdeki gökadalara baktığı zaman hepsinin kırmızıya kaydığını, yani bizden uzaklaştığını farketti. Ama o zamanlar uzaklık ölçümleri yapılamıyordu.
- Tüm gökadalara (kendi kümemiz içindekiler hariç) bizden uzaklaşırlar!

Hubble Diagramı

- 1927'de E. Hubble ölçebildiği gökadalara uzaklıklarını ve hızlarını çizdiğinde birbirlerine orantılı olduğunu buldu ve bu sonucu PNAS dergisinde yayınladı.
- Bu grafiğe Hubble Diyagramı, hız ile uzaklık arasındaki ilişkiye Hubble Kanunu adı verilir.
- Gökadaların birbirinden uzaklaşmasına Hubble Akımı adı verilir.
- <http://www.pnas.org/cgi/reprint/101/1/8>



Peki genişleyen ne?

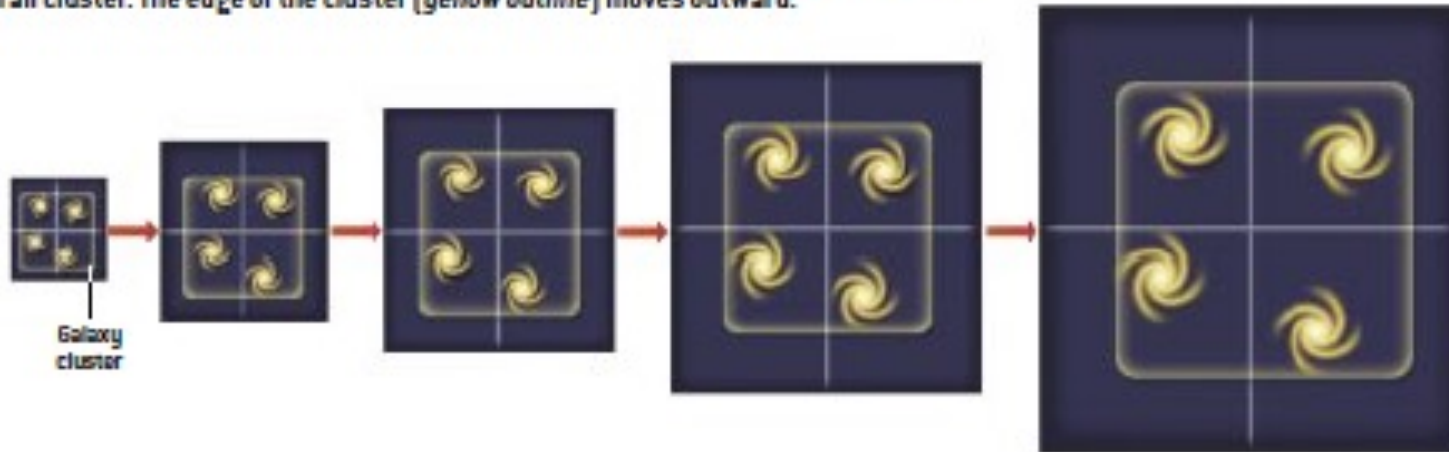
- Evren genişliyor. Gökadalar birbirinden uzaklaşıyor. Dünya, Güneş, insanlar evrenle beraber genişliyorlar mı?
- HAYIR! Nükleer, atomik ve kütleçekim kuvvetleri ile birbirine bağlı sistemler (kısa adı ile iç kuvvetlerle sistem oluşturanlar) genişlemezler! Tek genişleyen uzay zaman dokusu, gökadalar arasındaki büyük mesafelerdir.
- Evrenin genişlemesi ile oluşan kırmızıya kaymaya “kozmojik kırmızıya kayma” denir.
- Evrenin genişlemesi, büyük patlama teorisini destekler.

Büyük patlama, yanlışlar ve doğrular

DO OBJECTS INSIDE THE UNIVERSE EXPAND, TOO?

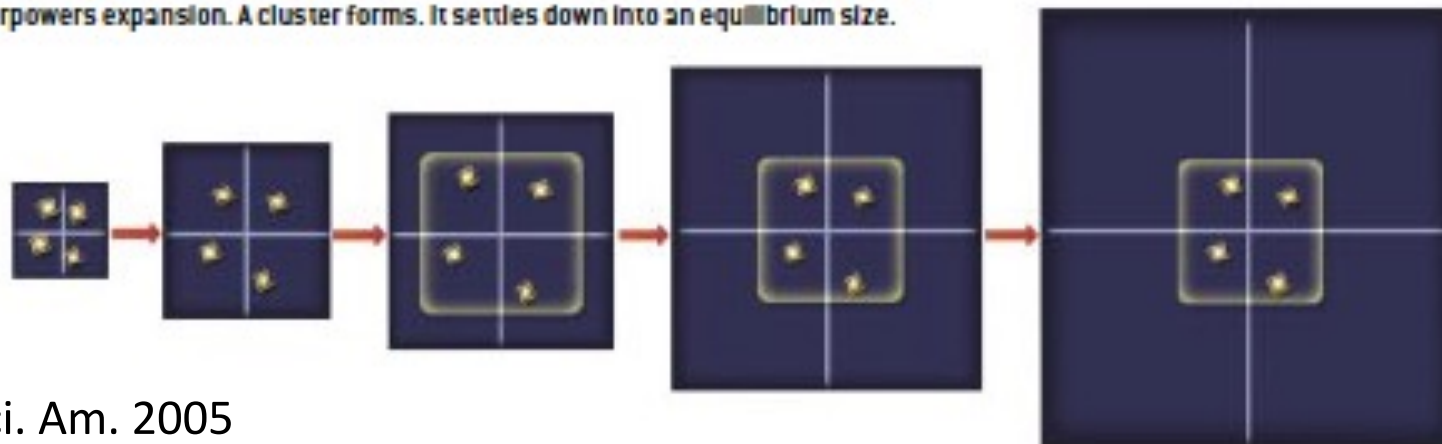
WRONG: Yes. Expansion causes the universe and everything in it to grow.

Consider galaxies in a cluster. As the universe gets bigger, so do the galaxies and the overall cluster. The edge of the cluster (yellow outline) moves outward.



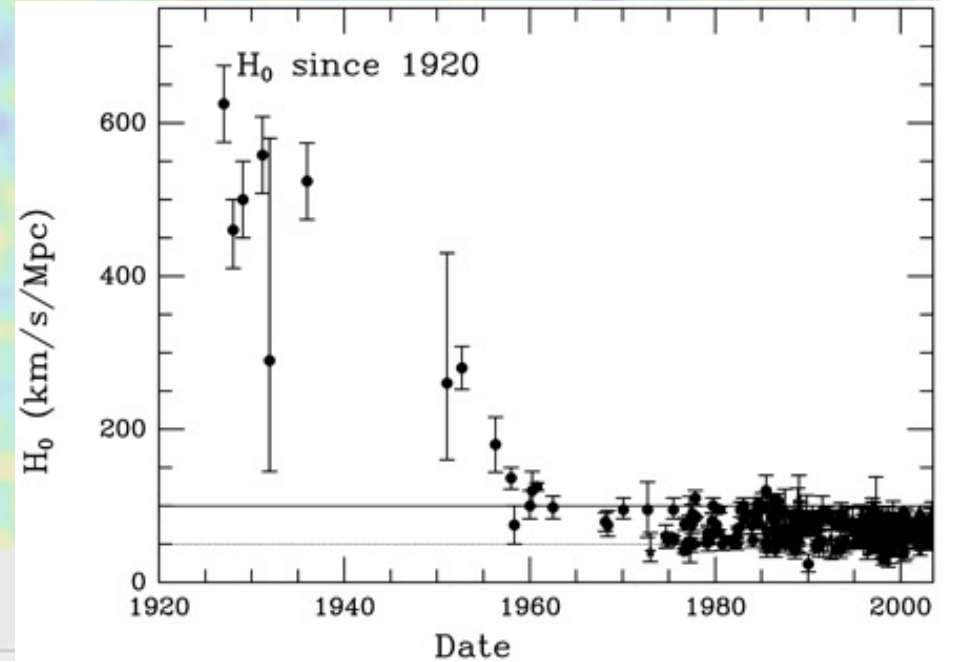
RIGHT: No. The universe grows, but coherent objects inside it do not.

Neighboring galaxies initially get pulled apart, but eventually their mutual gravity overpowers expansion. A cluster forms. It settles down into an equilibrium size.



Hubble Sabiti ve uzaklık ölçmek için yeni bir yöntem

- Hubble sabiti H_0 :
- – uzaklaşma hızı $v = H_0 \times \text{uzaklık}$
- Hubble'ın ilk ölçümü $\sim 600 \text{ km/s/Mpc}$, şu anki değerinden çok uzak!
- Bugün ölçümler, tekniğine bağlı olarak 50-100 km/s/Mpc üzerine yoğunlaşıyor.
- Değişik metotları bir arada kullanarak yapılan en iyi ölçümler:
- **70 km/s/Mpc**

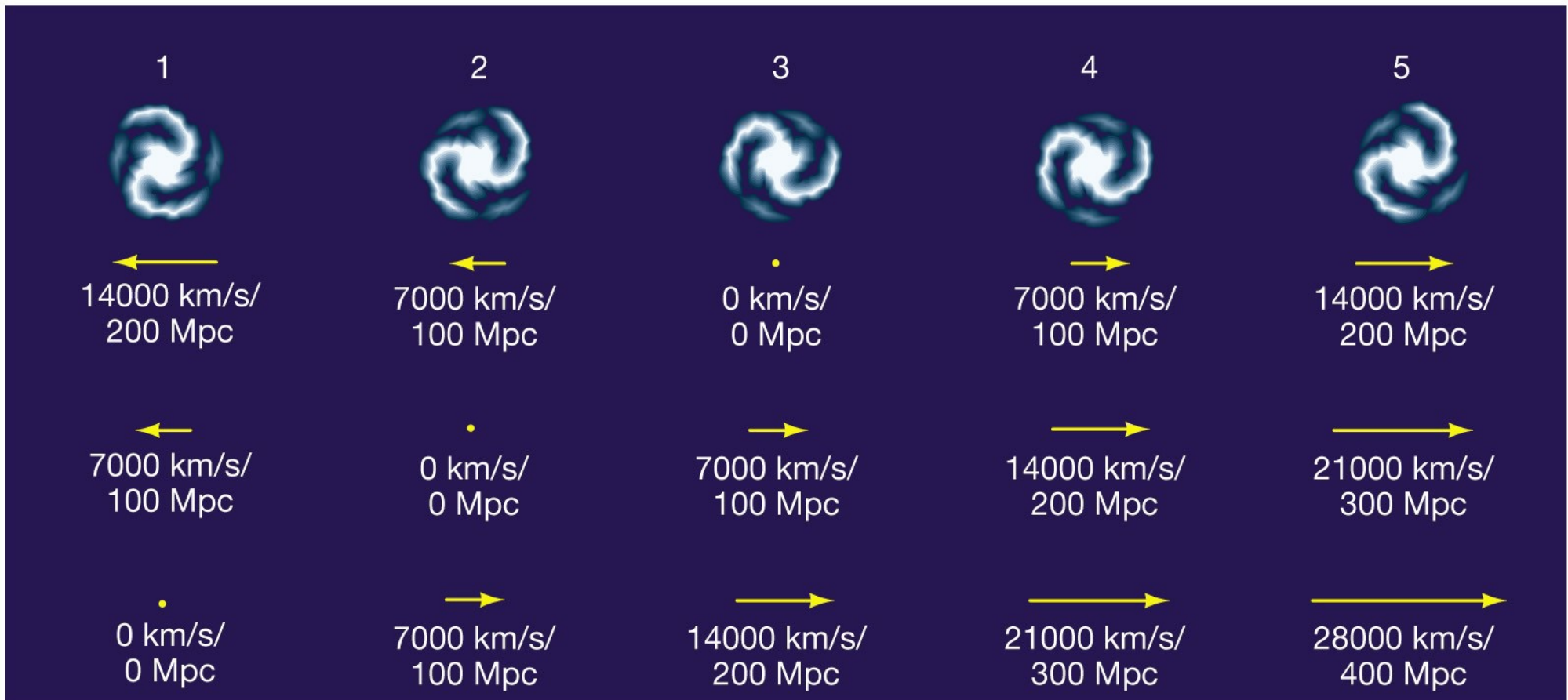


Hubble Kanunu kullanarak mesafe ölçme

- Dolayısıyla sadece Hubble Kanunu kullanarak ve bir gökadanın uzaklaşma hızını ölçerek bu gökadanın uzaklığını bulabiliriz.
- Kozmologlar genelde uzaklık yerine kırmızıya kaymadan söz ederler $z = \Delta\lambda/\lambda$
- $\Delta\lambda/\lambda = v_{\text{kaynak}}/v_{\text{dalga}}$ bulmuştuk. Küçük z değerleri için $z = v/c$ (büyük z değerleri için görelilik işin içine giriyor)

Hubble Kanunu Evrendeki tüm gözlemciler için aynı formdadır

Hubble Kanunu uzaydaki her noktada aynı formda kalır, ve gökadalara bağlı hızları tüm gözlemciler için aynı kalır!



Evrenin Doğuşu

- $v = H_0 \times d$ d: uzaklık
- Evrenin genişlemesinin sabit hızla gerçekleştiğini kabul edelim (bunu daha sonra tartışacağız)
- $v = H_0 \times d = H_0 \times (v \times \Delta t)$
- $\Delta t = 1/H_0 = 1/((70 \text{ km/s})/\text{Mpc}) = 14 \text{ Milyar yıl!}$
- Bu 'kabaca' bulunan zaman uzaklıktan, seçilen noktalardan bağımsız!
- Tüm gökadaları oluşturan madde ve ışığa 14 milyar yıl önce aynı noktadaydı!
- Büyük Patlama sonrası evren genişlemeye başladı.



The favourite practical joke amongst Big Bang theorists.

Evrenin Yaşı

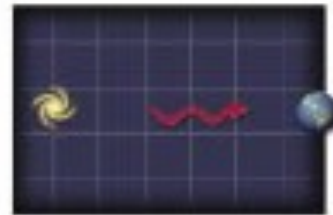
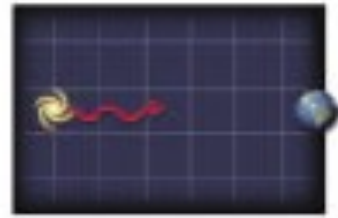
- Evren aşıağı yukarı 14 milyar yaşıında, dolayısıyla **GÖZLEYEBİLDİĞİMİZ EVRENİN BİR SINIRI VAR!**
- Görebildiğimiz evren sonsuz olamaz! Evren sonsuz olsa bile bize her tarafından ışık gelemmez, sadece 14 milyar öncesinden genişleyen alan kadar bölümünden ışık gelebilir. (Zaten evren durağan da değil.)
- Peki, her yöne baktığımızda bütün gökadar bizden uzaklaşıyorsa biz evrenin merkezinde olmaz mıyız?

Büyük patlama, yanlıklar ve doğrular

HOW LARGE IS THE OBSERVABLE UNIVERSE?

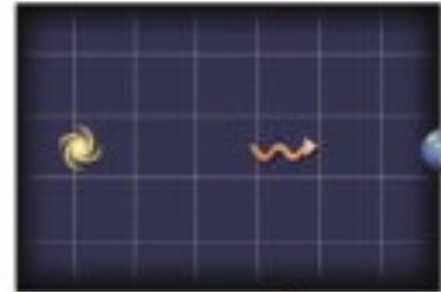
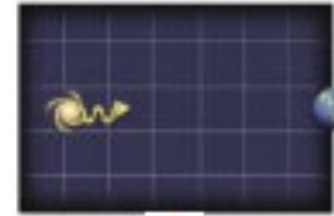
WRONG: The universe is 14 billion years old, so the radius of the observable part is 14 billion light-years.

Consider the most distant observable galaxy—one whose photons, emitted shortly after the big bang, are only now reaching us. A light-year is the distance photons travel in one year. So a photon from that galaxy has traveled 14 billion light-years.



14 billion light-years

RIGHT: Because space is expanding, the observable part of our universe has a radius of more than 14 billion light-years.



46 billion light-years

As a photon travels, the space it traverses expands. By the time it reaches us, the total distance to the originating galaxy is larger than a simple calculation based on the travel time might imply—about three times as large.

Büyük Patlama nerede oldu?

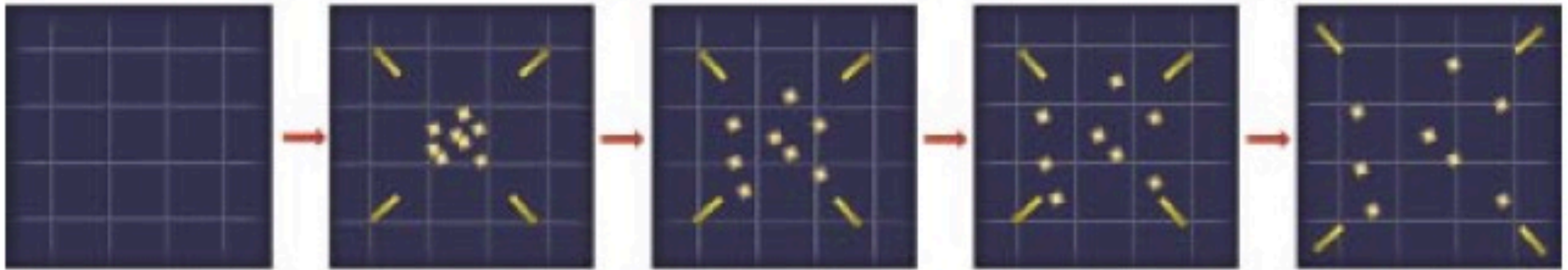
- Büyük patlama evrenin hangi noktasında oldu? Bu nokta özel değil mi? Homojenlik prensibini bozmaz mı?
- HAYIR! Çünkü patlama daha büyük bir evrenin içindeki bir noktada meydana gelmedi! Büyük patlama zaten bütün madde, ve ışımaya, yani enerjiyi içeriyor.
- Yani büyük patlamayı bir bombanın patlaması gibi düşünmemek lazım, yani gökadalara evrenin içinde patlamayla savrulmuş değil, onlar uzay zaman genişlerken birbirlerinden uzaklaşıyorlar.
- Üzümlü kek içindeki üzümlerin fırındaki kekle beraber birbirlerinden uzaklaşması gibi bir durum.

Büyük patlama, yanlışlar ve doğrular

WHAT KIND OF EXPLOSION WAS THE BIG BANG?

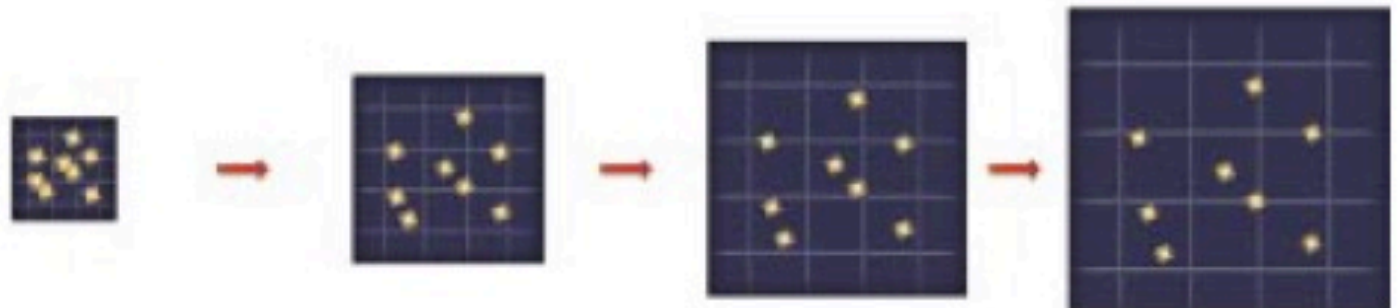
WRONG: The big bang was like a bomb going off at a certain location in previously empty space.

In this view, the universe came into existence when matter exploded out from some particular location. The pressure was highest at the center and lowest in the surrounding void; this pressure difference pushed material outward.



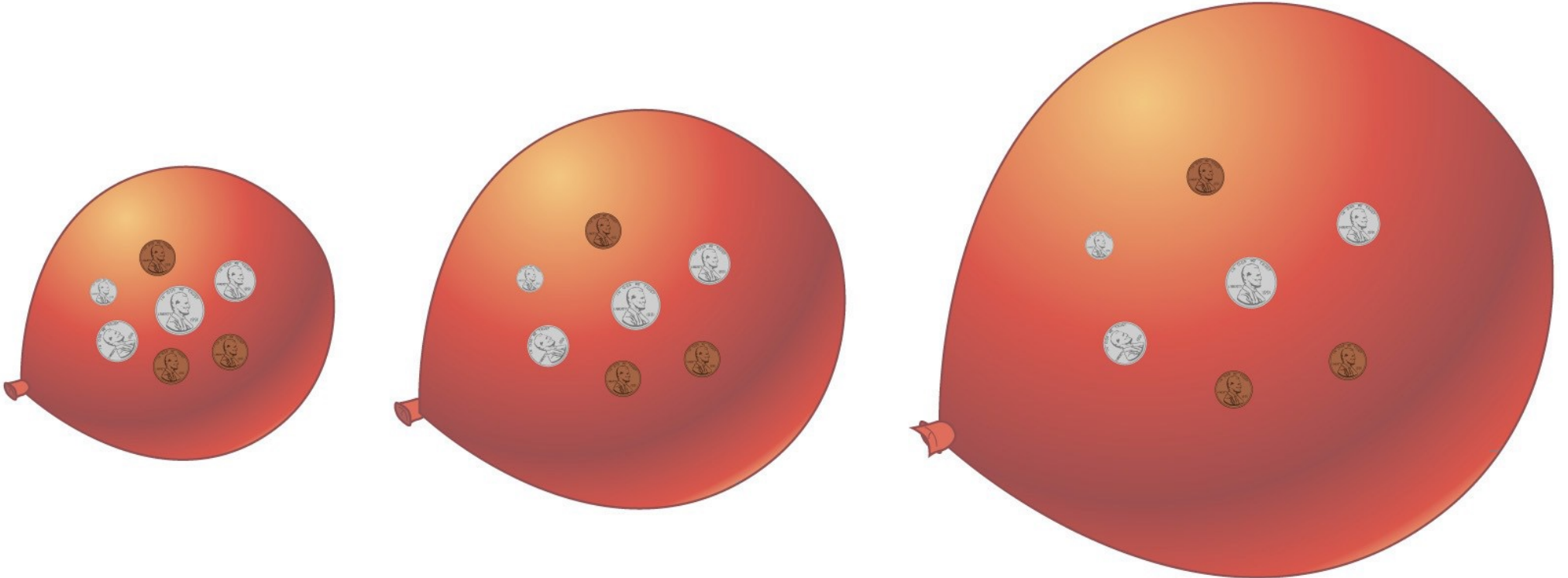
RIGHT: It was an explosion of space itself.

The space we inhabit is itself expanding. There was no center to this explosion; it happened everywhere. The density and pressure were the same everywhere, so there was no pressure difference to drive a conventional explosion.



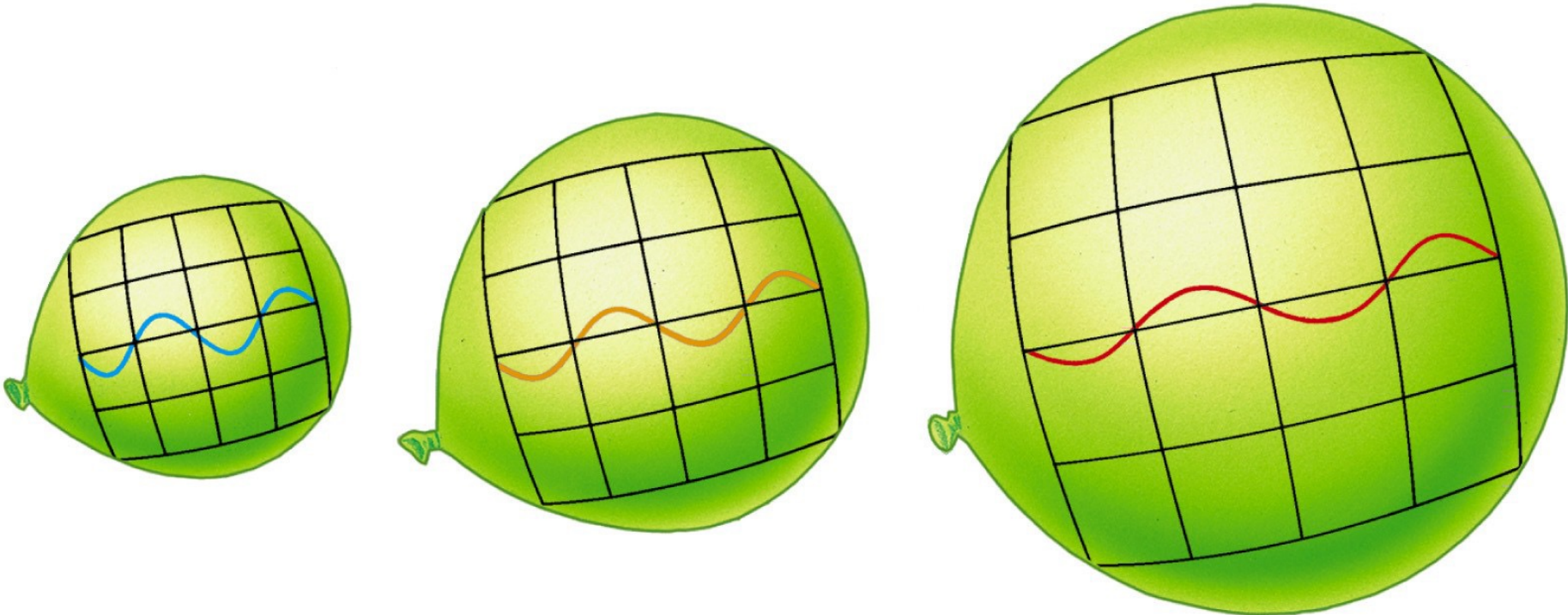
Balon Analojisi

- Evrenin büyük patlama sonrası genişlemesini en iyi anlatan analogi balon analogisidir. Gökadaların kendisi genişlemez ama evren genişledikçe aralarındaki mesafe artar.



Kırmızıya kaymanın gerçek anlamı

- Kırmızıya kaymayı anlamamanın bir yolu ise geometrik düşünmek. Uzak bir gökadanan yola çıkan ışık paketlerinin dalgaboyu, evren genişledikçe bağlı oldukları uzay-zaman ile genişler.
- Kırmızıya kayma (z) demek, evren o ışık paketi yola çıktığından beri z kat büyümüş demektir! O yüzden z , hem evrenin o anki büyüklüğünün, hem de o gökadanın bizden ne kadar uzak olduğunun bir ölçüsüdür.

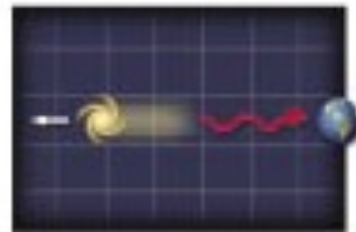
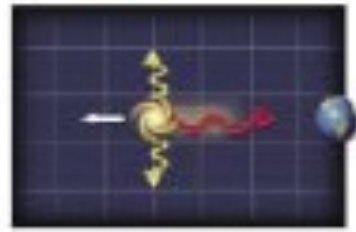


Büyük patlama, yanlışlar ve doğrular

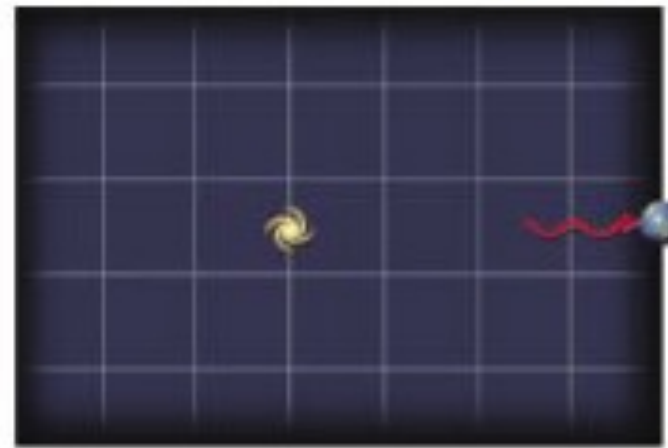
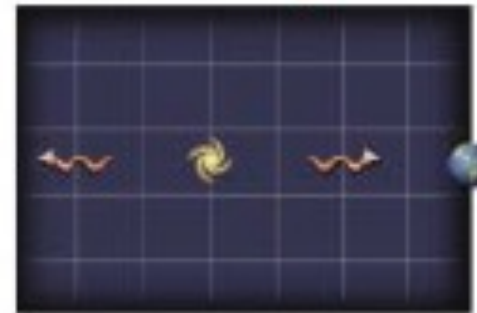
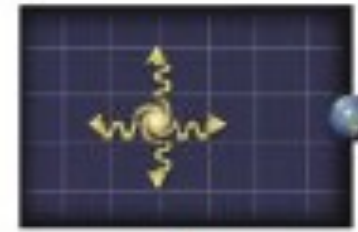
WHY IS THERE A COSMIC REDSHIFT?

WRONG: Because receding galaxies are moving through space and exhibit a Doppler shift.

In the Doppler effect, a galaxy's movement away from the observer stretches the light waves, making them redder (top). The wavelength of light then stays the same during its journey through space (middle). The observer detects the light, measures its Doppler redshift and computes the galaxy velocity (bottom).



RIGHT: Because expanding space stretches all light waves as they propagate.



Galaxies hardly move through space, so they emit light with nearly the same wavelength in all directions (top). The wavelength gets longer during the journey, because space is expanding. Thus, the light gradually reddens (middle and bottom). The amount of redshift differs from what a Doppler shift would produce.

Büyük patlamada kafa karışıklığı

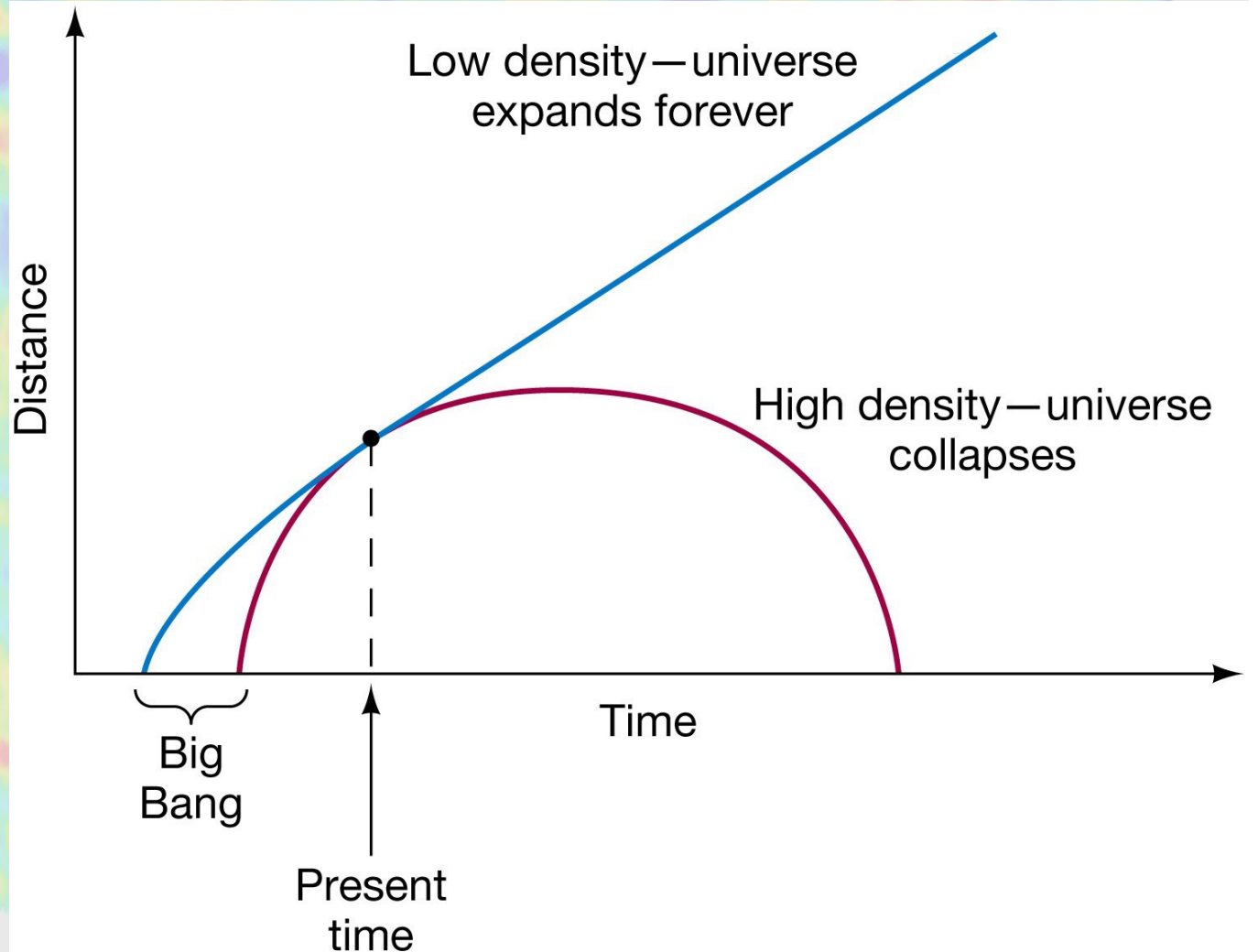
- Bizim görebildiğimiz ve inceleyebildiğimiz evren ilk patladığında gerçekten bir noktaydı. Ama evrendeki herhangi bir gözlemci için bu aynı. Andromeda daki bir uzaylı astronom için de kendisine ait bir gözlenebilir evren var. Daha uzaktaki bir uzaylı kozmolog için de aynı şekilde. Yani patlama sırasında evren sonlu ya da sonsuz olabilir. Sonsuz ise sonsuz olmaya devam eder. Sonlu ve kapalı ise gerçekten sonlu tek bir noktadan başlamış olabilir. -1 ile 1 arasında kaç reel sayı var? peki -10 ile 10 arasında? Küçük sonsuz da büyük sonsuz da sonsuzdur!
- Genişleme dediğimiz gerçek anlamda her yerde "uzayın ortaya çıkarak" gökadalardan birbirinden uzaklaşmasıdır.
- Balon analogisini düşünürsek (balonun içini düşünmeyeceğiz), yüzeydeki bütün noktalar aynı anda aynı oranda birbirlerinden uzaklaşmaktadır.
- Evren bildiğimiz bütün zaman uzay ve enerjiyi içerir, ve neyin içine doğru büyüyor bilimsel olarak cevap verebileceğimiz bir soru değildir. Büyük patlamanın neden ve nasıl olduğu da bilimsel metotla cevap verebileceğimiz bir soru değildir (simdilik).

Evrenin Sonu....

- Evrenin genişlemesi sonsuza kadar devam edecek mi? Bunu daha önce de kullandığımız kaçış hızı konsepti ile araştıralım:
- Büyük patlama ile evrene bir ilk hız verdik! Ama tüm evren bütün maddeyi birbirine yaklaştırmaya çalışıyor.
- Eğer verdiğimiz ilk hız kütleçekim potansiyelini yenebilirse evren sonsuza kadar genişler. Yenemezse evrenin genişlemesinin durması ve evrenin küçülmesi gerekir.
- Hangisinin olacağını kabaca hesaplayabiliriz. Hızı Hubble Kanunu kullanarak bulabiliriz. Geriye evrendeki madde-enerji miktarı kalıyor. Evreni homojen kabul ettiğimizde kritik bir yoğunluk bulabiliriz:
- **$9 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$. Bu küçük bir yoğunluk, sadece m^3 de 5 hidrojen atomu, ya da Mpc^3 içinde 0.1 Samanyolu kütlesi**

İki son, ikisi de mutlu değil...

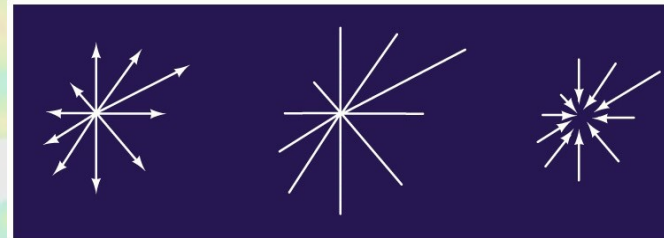
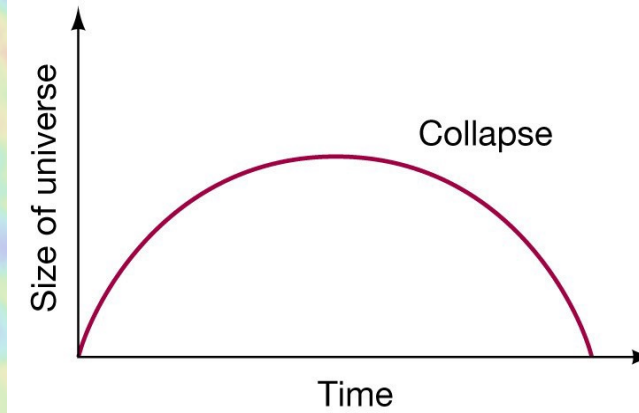
- Işın ilginç tarafı şu an hangi sonun bizi beklediğini hesaplayamıyoruz (AMA...)



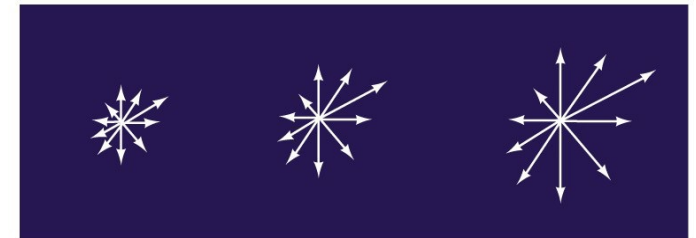
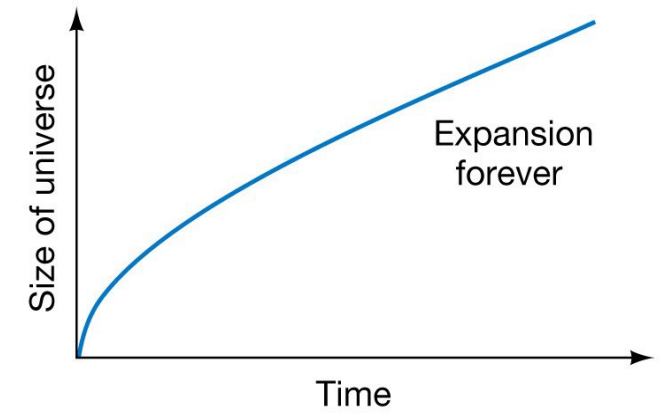
Ölümünü seçey evren....

- $\rho_{\text{evren}} > \rho_{\text{kritik}}$
- Bir süre sonra gökadalar birbirinden uzaklaşmayı keser. Evren küçülmeye başlar ve tüm gökadalar birbirlerine göre maviye kayma gösterir. Sıcaklık ve basınç artar, gökadalar çarpışır.
- Sonuçta çok büyük sıcaklıklar ve basınç altında evren tek bir noktaya çöker:
Büyük Çökme

- $\rho_{\text{evren}} < \rho_{\text{kritik}}$
- Evren sonsuza kadar genişler. Evrendeki tüm sıcaklıklar yavaş yavaş azalır. Yıldızlar tüm yakıtlarını tüketir ve ışık vermez olurlar. Sonuçta tüm ışımaya yok olur, sıcaklık mutlak sıfıra doğru gider:
"Soğuk Ölüm"



(a)



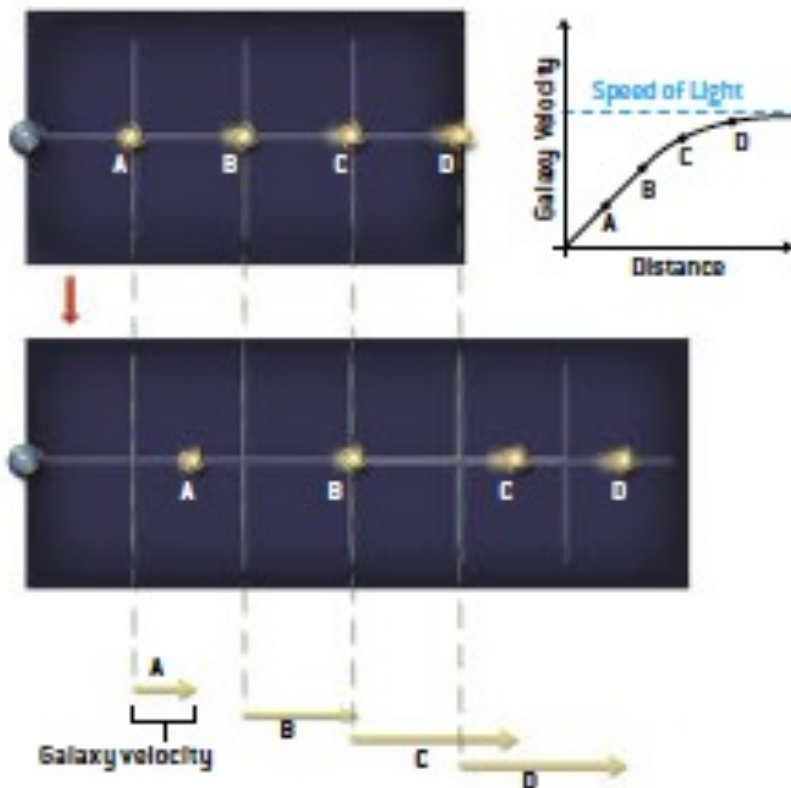
(b)

Büyük patlama, yanlıklar ve doğrular

CAN GALAXIES RECEDE FASTER THAN LIGHT?

WRONG: Of course not. Einstein's special theory of relativity forbids that.

Consider a patch of space containing some galaxies. The galaxies move away from us—the farther the galaxy, the faster its velocity (yellow arrows). If light speed is the ultimate limit, the galaxy velocity must eventually plateau (graph).



RIGHT: Sure they can. Special relativity does not apply to recession velocity.

In expanding space, recession velocity keeps increasing with distance. Beyond a certain distance, known as the Hubble distance, it exceeds the speed of light. This is not a violation of relativity, because recession velocity is caused not by motion through space but by the expansion of space.

