

Kosmologi

Julieta Fierro, Susana Deustua, Beatriz García

International Astronomical Union,

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Space Telescope Science Institute, USA

ITeDA and Universidad Tecnológica Nacional, Argentina



Alam semesta adalah segalanya:

Ruang
Materi
Energi
Waktu



Alam semesta adalah proses evolusi yang kontinu.
Setiap objek di alam semesta berubah,
sebagaimana pemikiran kita tentang hal tersebut.

Kurang dari satu abad sejak kita mempunyai penelitian yang cukup untuk melakukan pengukuran alam semesta dan mencoba untuk melakukan metode ilmiah pada suatu subjek.

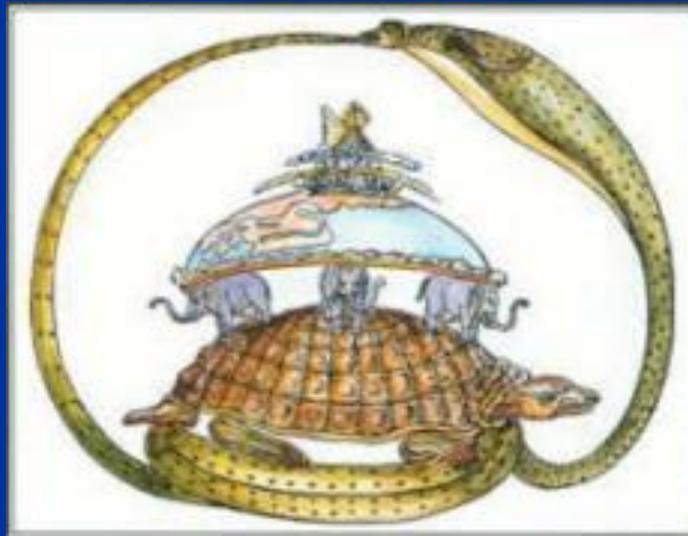


Pada puluhan tahun terakhir kita mempunyai informasi tentang alam semesta dan kita dapat mempelajarinya. Sebelumnya hanya terdapat sejumlah spekulasi.



Apresiasi intuitif kita tentang alam semesta bukan berupa model standar Ledakan Besar (Big Bang).

Menurut sejarah, banyak budaya yang mencoba menjelaskan keberadaan alam semesta. Contoh: Orang Babylonia menyatakan bahwa bumi itu datar, dengan ketinggian tertentu, dan didukung oleh gajah-gajah yang berada di atas seekor kura-kura, dan dilingkupi oleh seekor ular. Mereka menjelaskan terjadinya gempa bumi sebagai penyusunan ulang gajah-gajah.



Pengujian terdhadap model tersebut:

Bayangan dari seekor gajah dan seekor kura-kura, tidak tampak seperti bayangan Bumi pada Bulan.

Hanya benda bulat yang mempunyai bayangan berbentuk lingkaran.
Demonstrasi suatu Gerhana Bulan



Kemajuan Ilmu Pengetahuan

- Mempertimbangkan
- Memikirkan pertanyaan-pertanyaan yang muncul tentang alam semesta
- Melakukan eksperimen
- Memikirkan hasil yang didapatkan
- Mensosialisasikan pengetahuan baru melalui artikel-artikel
- Ketika seorang pemikir memberikan komentar positif atas ide kita, pengetahuan menjadi semakin kukuh. Juga ketika kita belajar dari kesalahan yang kita lakukan.



Model Standar Ledakan Besar (Big Bang)

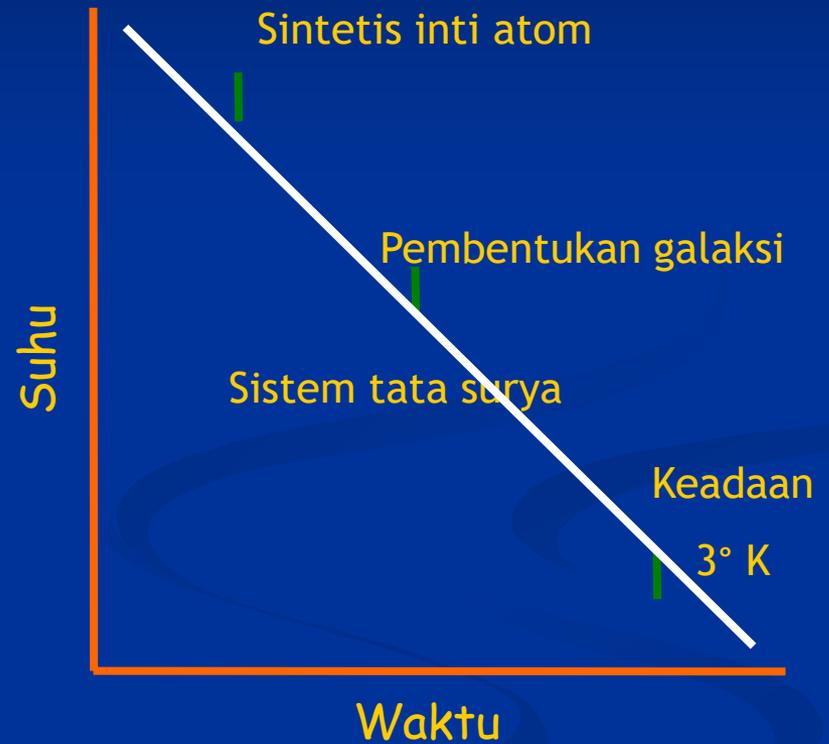
- Ini adalah salah satu model yang paling sederhana dan dapat menjelaskan hasil observasi:
 - Ekspansi
 - Latar belakang radiasi kosmis
 - Kelimpahan unsur kimiawi
 - Homogenitas
- Terdapat juga model yang lain



- Ilmu Pengetahuan tidak menyatakan tentang kebenaran suatu model – hal tersebut tidak mungkin tercapai.

Pengembangan Alam Semesta

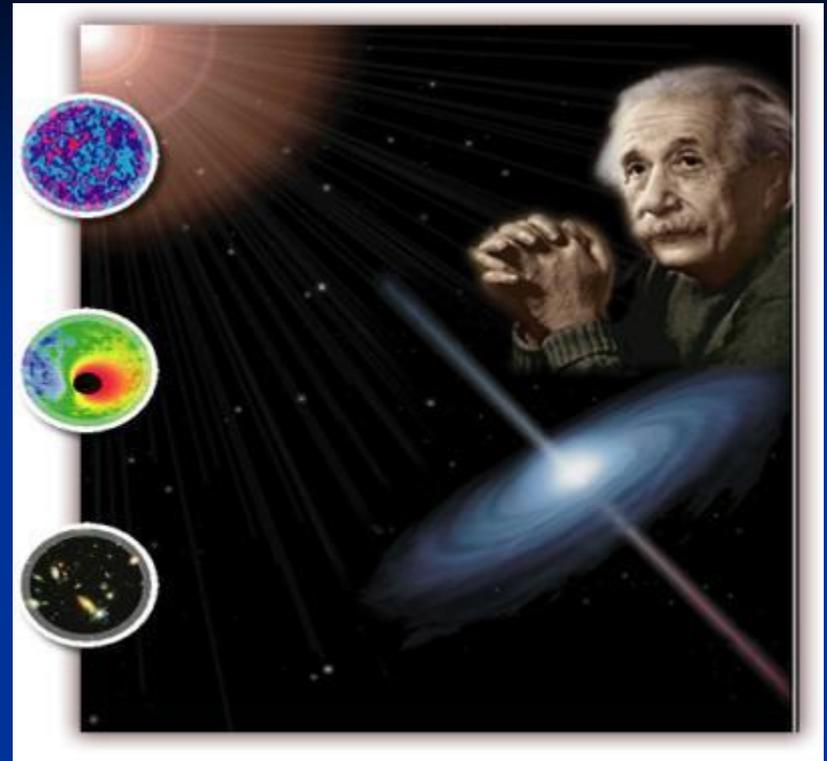
- ❑ Alam semesta terbentuk sekitar 14.000 juta tahun yang lalu.
- ❑ Segalanya berawal ketika energi dibebaskan dari keadaan vakum
- ❑ Energi mengalami proses pengembangan dan pendinginan
- ❑ Hasilnya, energi ini berubah menjadi materi



Bidang Fisika yang mempelajari Bumi dan keberadaan alam semesta adalah Astrofisika.

Albert Einstein menemukan bahwa energi dapat diubah menjadi materi dan sebaliknya. Pada awal keberadaan alam semesta, energi dari vakum diubah menjadi materi.

Di dalam bintang, energi diubah menjadi materi, karena itu mereka tampak bercahaya.



Kesetaraan antara massa dan energi

$$E = mc^2$$

q , leptons

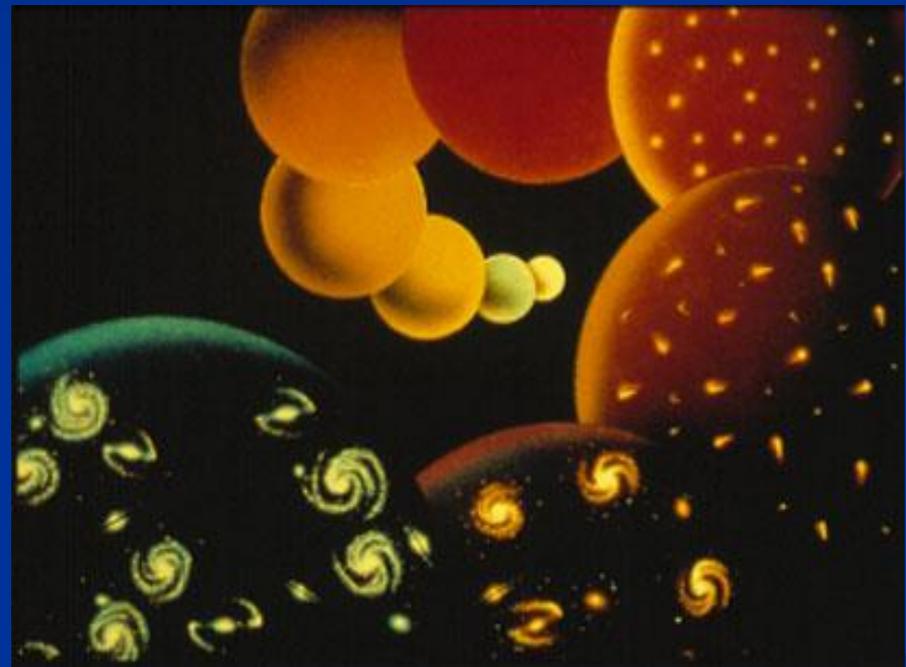
p⁺ n e⁻



Pada mulanya semua materi terionisasi

Kemudian terjadi penggabungan untuk membentuk atom-atom netral

Atom-atom membentuk awan, dan di dalamnya, galaksi-galaksi awal dengan bintang-bintangnya.



Kemudian, planet-planet batuan (seperti Bumi) terbentuk dan muncullah kehidupan.



Evolusi Kimiawi

Proton, neutron dan electron terbentuk pada menit-menit pertama keberadaan alam semesta. Kemudian mereka membentuk atom-atom sederhana seperti H dan He.

$$E = mc^2$$

H – terbentuk dari sebuah proton p^+

H – berubah menjadi He

- Sisa dari unsur-unsur terbentuk di dalam bintang melalui reaksi termonuklir.
- Atom-atom berat, seperti uranium, terjadi ketika bintang meledak dan melontarkan partikel-partikel, yang ketika bertumbukan membentuk unsur-unsur baru.
- Ribuan juta tahun setelah terjadinya Big Bang, ketika unsur-unsur selain hidrogen dan helium terbentuk melalui proses evolusi bintang.



Fisika dan Kosmologi

Kita dapat menjelaskan keseharian materi melalui kuark, komponen pembentuk proton, neutron, dan lepton (salah satu yang paling dipahami adalah elektron) dan interaksi antar partikel tersebut, seperti gejala elektromagnetik.

Anggota			Interaksi
lepton	elektron	neutrino	Gaya elektromagnetik
kuark	top	bottom	Gaya inti kuat
baryon	proton	neutron	Gaya lemah, gaya kuat

Penyederhanaan suatu model akan membantu pemahaman tentang bagaimana awal keberadaan alam semesta, dimana energi berubah menjadi materi dan materi berubah menjadi energi.



Melalui pengamatan kita belajar tentang:

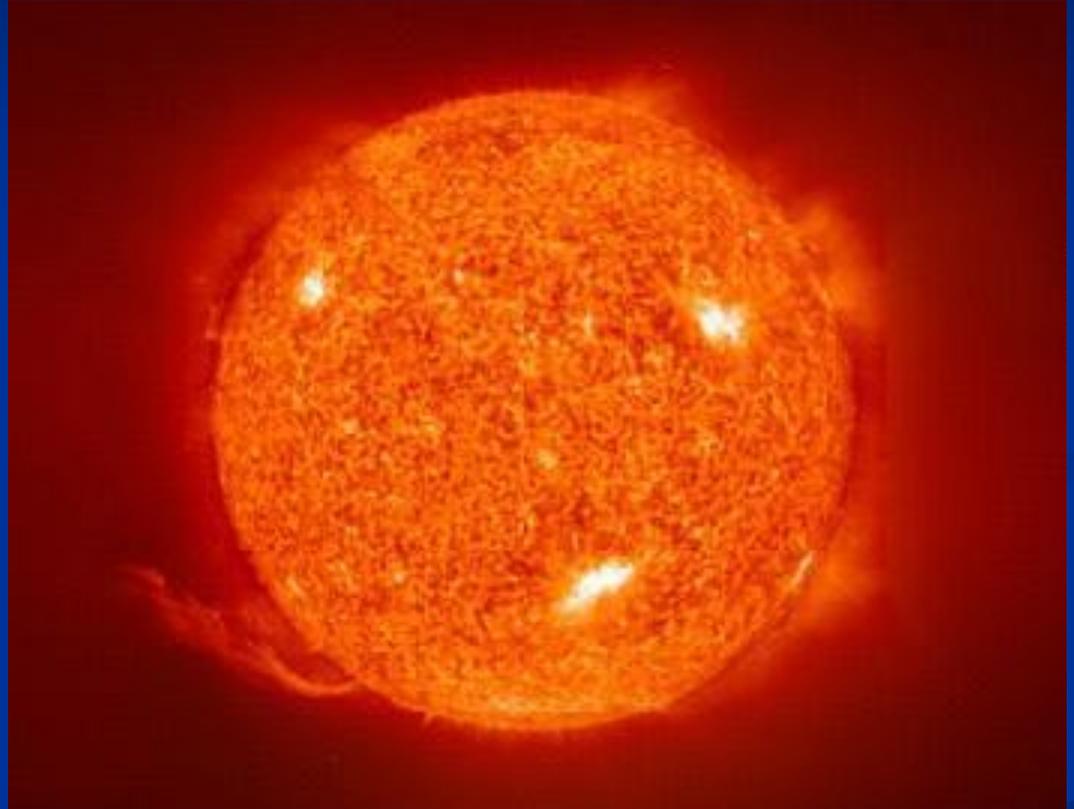
- Properti fisis dari benda –benda langit
- Ukuran dan jarak
- Waktu dan umur
- Laju ekspansi dari alam semesta
- Suhu dari suatu radiasi
- Komposisi kimiawi
- Struktur Alam Semesta
- Mengapa malam itu gelap?
- Keberadaan materi gelap dan energi gelap



Matahari

Objek yang paling banyak dipelajari karena paling terang – paling mudah dilakukan.

Matahari dan sisa dari bintang-bintang adalah objek yang paling dikenal.



Planet di luar sistem tatasurya



Selain bintang-bintang, pada beberapa tahun terakhir telah ditemukan ratusan planet disekitar suatu bintang, karena mereka tidak memancarkan cahaya, tetapi karena mereka mengganggu orbit bintang dan membelokkan cahaya

Kehidupan



Properti lain dari alam semesta adalah kehidupan. Kita belum dapat menemukan kehidupan di luar bumi kita.

Kita percaya bahwa kehidupan membutuhkan air untuk berkembang karena air memfasilitasi pertukaran zat dan pembentukan molekul kompleks



Material antar bintang

Ruangan di antara bintang-bintang bukanlah ruang kosong, tetapi dipenuhi oleh material antar bintang. Material ini terbentuk bersamaan dengan terbentuknya bintang baru.

Bintang-bintang lahir didalam awan gas dan debu. Awan tersebut mengalami kompresi membentuk bintang baru. Mereka menghabiskan sebagian besar masa hidupnya dengan mengubah inti hidrogen yang dimilikinya menjadi helium dan energi.



Kemudian membentuk unsur karbon, nitrogen, dan oksigen – unsur-unsur yang dapat kita buat.

Siklus hidup Matahari-seperti bintang



Ketika bintang-bintang kehabisan energinya, mereka akan terlontar dalam lingkungan sekitarnya bersamaan dengan partikel yang terbentuk di dalamnya. Setelah generasi setiap bintang, medium antar bintang – dimana suatu bintang baru lahir – akan mengandung sejumlah besar unsur-unsur tersebut.

Kluster

Bintang-bintang akan terkumpul dalam suatu kluster yang terdiri atas 100 hingga 1 000 000 bintang



Jewel Box, suatu kluster terbuka



Omega Centauri, suatu kluster globular



Galaksi

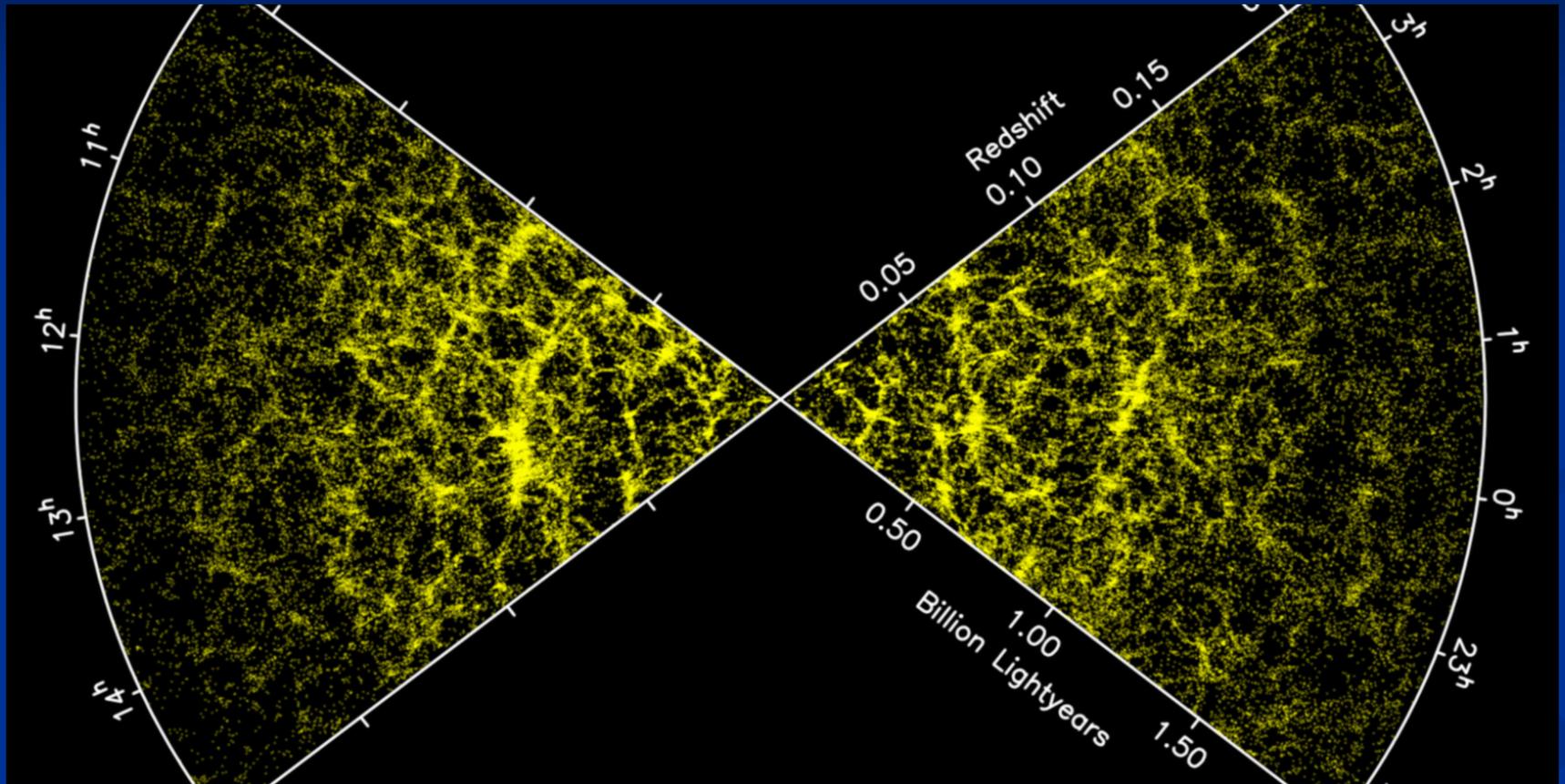
Galaksi adalah kumpulan sangat banyak bintang, suatu galaksi spiral seperti galaksi kita, mempunyai >100 milyar bintang, tiap bintang dengan planet-planetnya, satelit dan komet, gas, debu, dan sesuatu yang disebut materi gelap



Galaksi Spiral Whirlpool
Sumber: Teleskop Angkasa Hubble



Semesta berbentuk filamen (Filamentary universe)



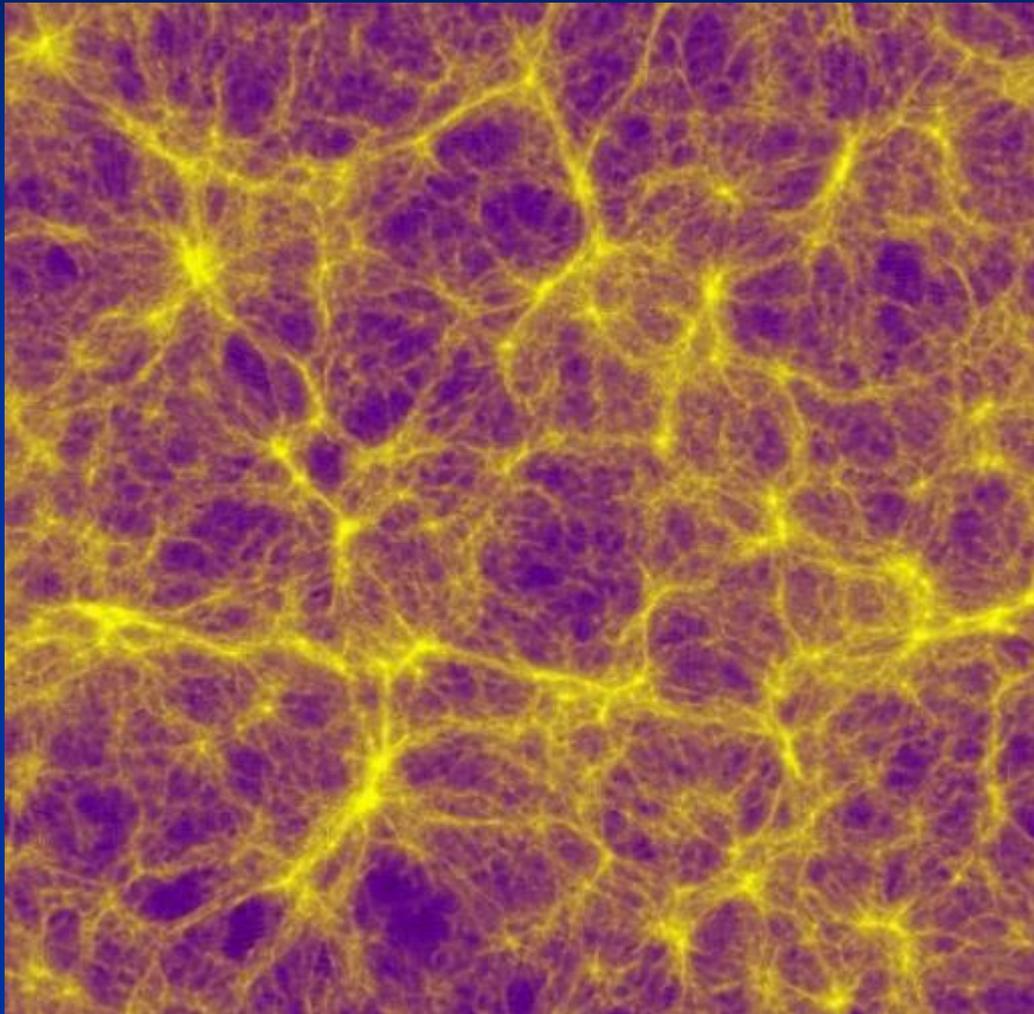
Sekelompok galaksi tersusun dalam suatu semesta berbentuk filamen (filamentary universe)

Alam semesta bisa diandaikan seperti gelembung sabun dalam pemandian, dimana materi yang melingkupi galaksi-galaksi berkembang, dan seiring berlalunya waktu volumenya terus berkembang



Sebagaimana alam semesta mengembang, maka ruang diantara kluster galaksi-galaksi berkembang dan alam semesta semakin merenggang.

Model dari semesta berbentuk filamen (filamentary universe)



Kluster-kluster dan super kluster – super kluster dari galaksi terletak pada suatu filamen/ jaring-jaring, seperti pada permukaan suatu gelembung sabun.

Sumber: Millenium Project
Max Planck Institute.



Struktur alam semesta: sintesis

24

- Bintang-bintang berada pada suatu kluster.
- Kluster-kluster bintang berada di dalam suatu galaksi.
- Galaksi-galaksi juga membentuk sekumpulan kluster, yang terdiri atas beberapa galaksi hingga ribuan galaksi.
- Struktur terbesar dalam alam semesta berbentuk filamen/jaring-jaring, yang terbentuk dari sekumpulan kluster dan super kluster dari galaksi-galaksi.



Ukuran dalam Kosmos

Kita dapat menggunakan ukuran 1 meter, seperti ukuran seorang anak, dan juga untuk suatu unit yang ribuan kali lebih besar, 1 kilometer...



... jarak yang ribuan kali lebih besar, ribuan kilometer, dapat ditempuh oleh pesawat dalam beberapa jam.



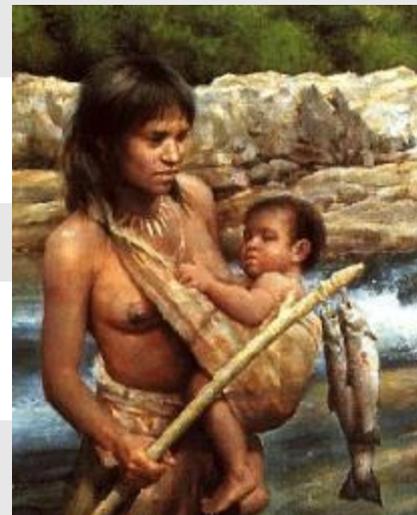
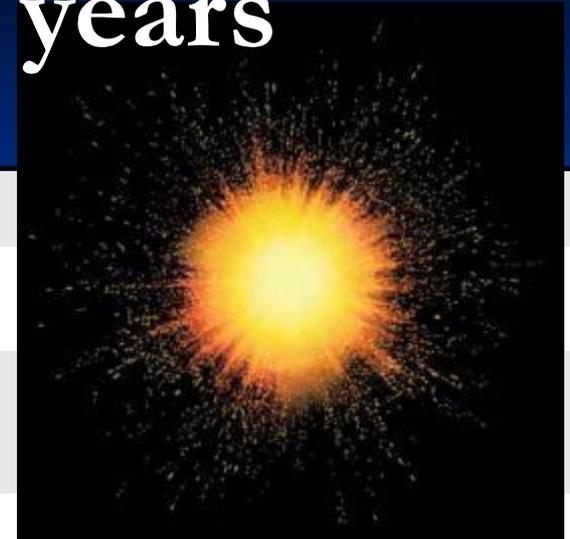
Untuk mencapai bulan kita memerlukan waktu 3 hari dan untuk menempuh jarak antara Matahari dan Jupiter adalah beberapa tahun. Jarak antara bintang-bintang terdekat adalah ribuan kali lebih besar



Time in the Cosmos in years

Big bang	14 000 000 000
Pembentukan Galaksi	13 000 000 000
Pembentukan Sistem Tatasurya	4 600 000 000
Kemunculan kehidupan di bumi	3 800 000 000
Kemunculan kehidupan yang kompleks	500 000 000
Kemunculan dinosaurus	350 000 000
Kepunahan Cretaceous	65 000 000
Appearance of the modern man	120 000

Kemunculan manusia masih sangat baru

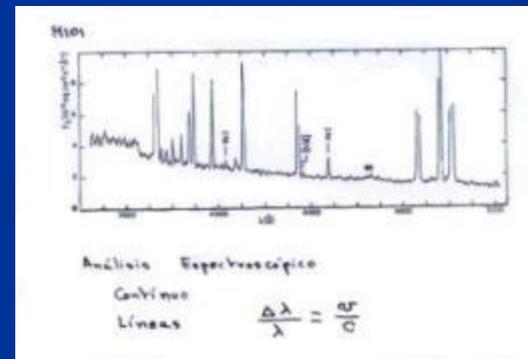
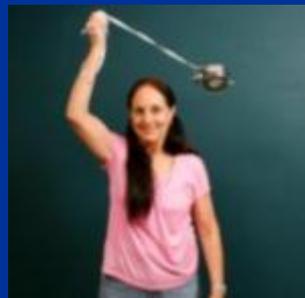


Mengamati Alam Semesta

Anda dapat mengambil foto untuk menentukan posisi atau keberadaan suatu bintang, atau jumlah cahaya yang dipancarkan.

Suatu spektrum dapat menentukan kecepatan gerak suatu bintang. Hal ini dikenal sebagai efek Doppler cahaya.

Dengan menganalisis radiasi yang dipancarkan, dipantulkan, atau diserap oleh bintang-bintang dan galaksi, kita dapat mempelajari sifat dan kelakuan bintang. (Efek Doppler)



Dasar-dasar suatu Model Standar

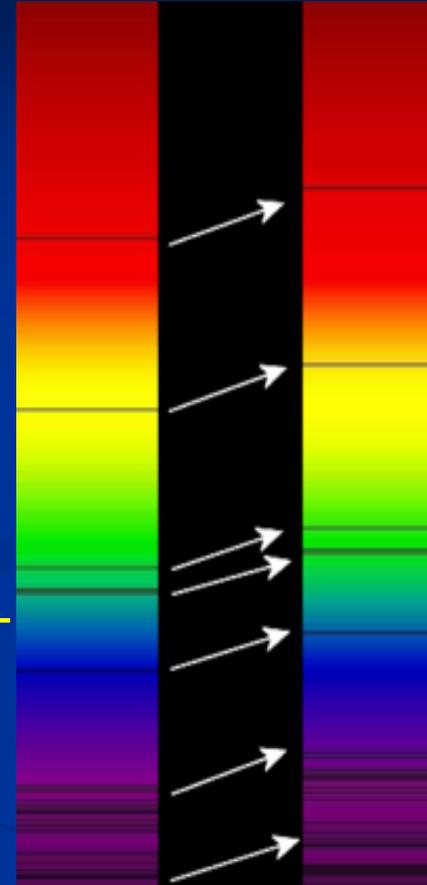
1. Pengembangan Alam Semesta

Efek Doppler yang bergeser ke arah warna merah menunjukkan bahwa alam semesta berkembang (Jika suatu bintang semakin dekat ke pengamat maka cahayanya semakin biru dan jika menjauh cahayanya menjadi semakin merah).

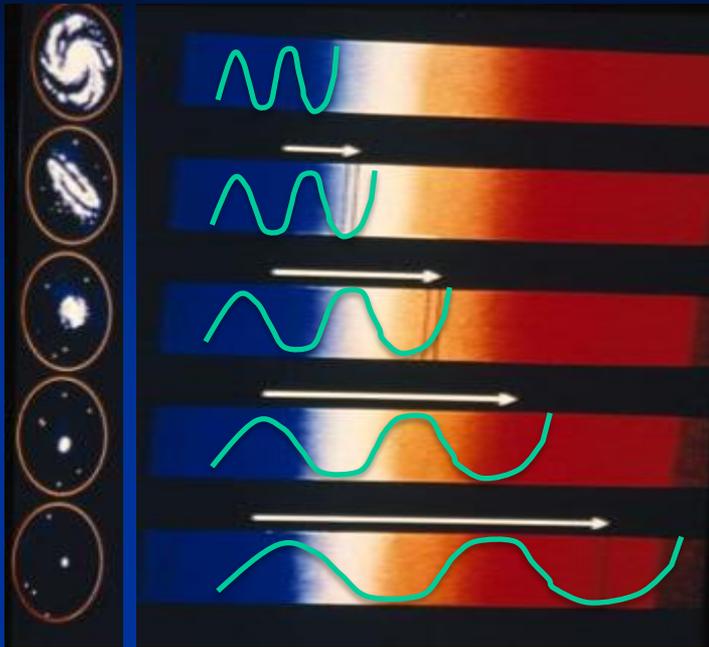
Kelompok galaksi saling bergerak satu terhadap yang lain dan jika mereka bergerak menjauh, mereka bergerak dengan laju yang semakin besar

2. Kelimpahan unsur kimiawi di alam semesta

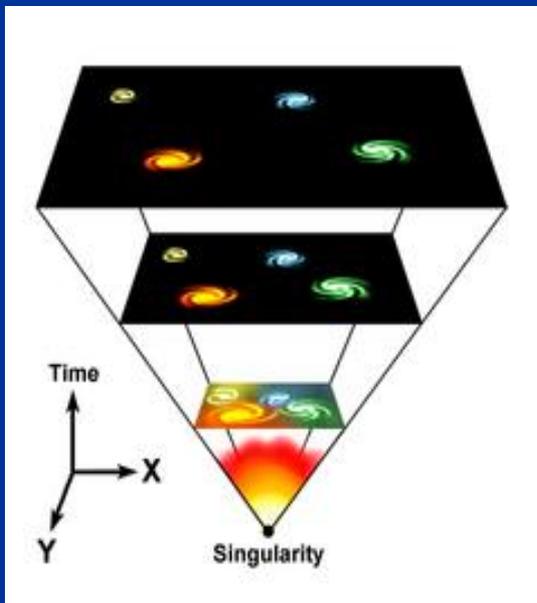
Pada menit-menit awal keberadaan Kosmos, hanya unsur H dan He yang terbentuk; proses ekspansi akan menghentikan pembentukannya: proses radiasi akan kehilangan energinya dan sangat tidak mungkin terjadi proses transformasi lajut menjadi proton dan neutron. Unsur C, N dan O terbentuk di dalam bintang dan bercampur dengan materi antar bintang ketika bintang tersebut mati.



Ekspansi Kosmis



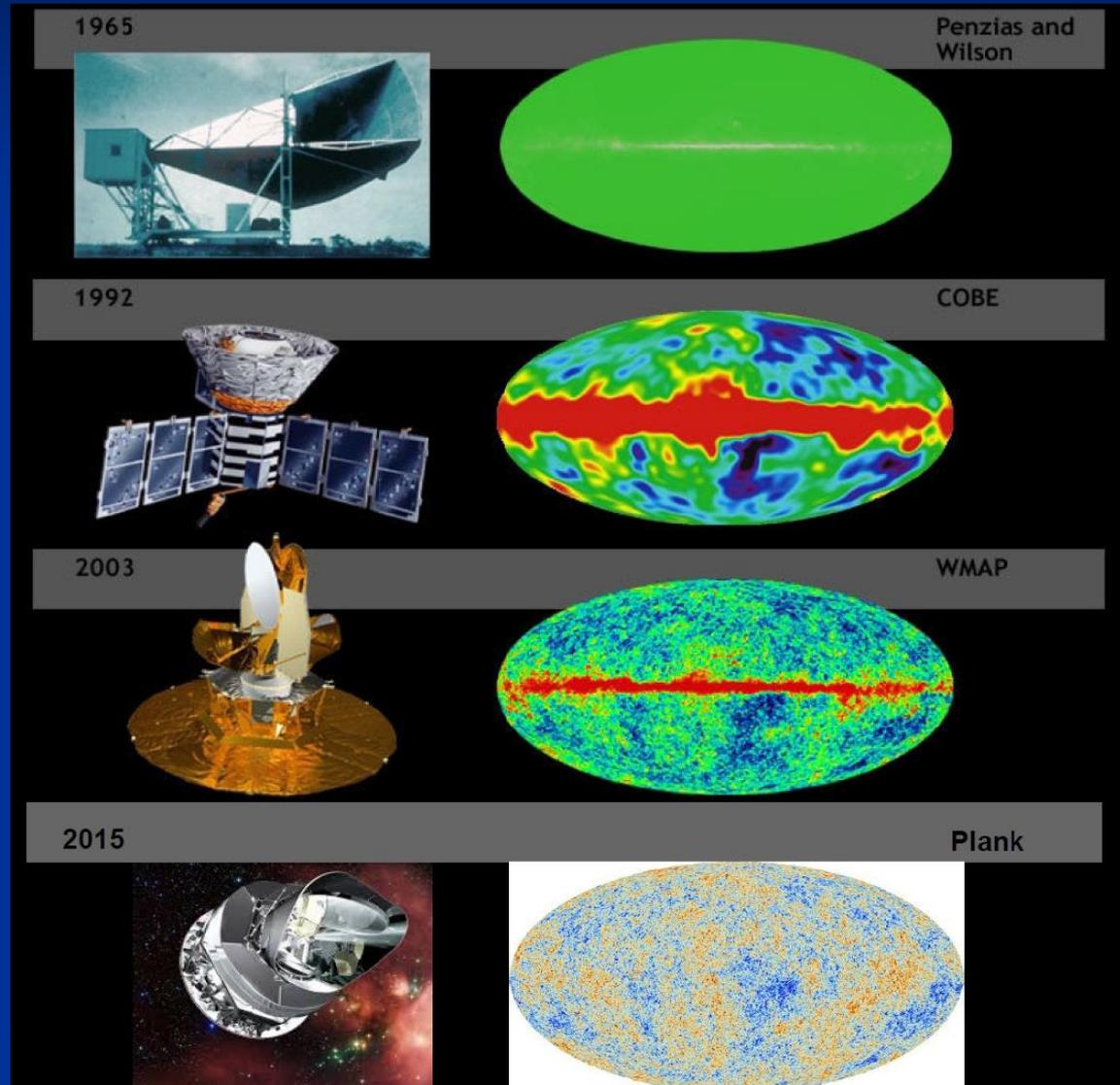
Ruang angkasa mengembang, dan juga radiasi foton merenggang. Sesuatu yang dulunya merupakan suatu gelombang pendek, sekarang kita amati sebagai gelombang radio yang lebih panjang.



Dengan melakukan pengukuran ekspansi kosmis, kita dapat menghitung umur alam semesta, yaitu 14 milyar tahun. Perkiraan ini lebih besar daripada pengukuran umur bintang yang tertua.

Cosmic Microwave Background (CMB) Radiation

- The COBE, WMAP and PLANCK missions made a map of the sky of CMB radiation, every time with more details, detecting small fluctuations: imprints of lumps of matter from which galaxies began to form



Adakah tepi batas dari alam semesta?



Kondisi yang diperlukan adalah stabilitas dari alam semesta, yaitu terjadinya pengembangan berkelanjutan. Jika proses ini berhenti maka keberadaan alam semesta yang kita lihat sekarang akan hilang. Proses ekspansi alam semesta adalah salah satu pilar dari model standar Big Bang.

tetapi... tidak ada pusat dari proses ekspansi yang terjadi



Apakah Gravitasi mendominasi alam semesta?



Alam semesta mengandung sejumlah besar massa, karena itu terdapat gaya gravitasi yang sangat besar. Suatu tarikan gravitasi.

Proses ekspansi dari adanya big bang mengimbangi adanya gravitasi

Alam semesta mengalami percepatan dan sumber energi yang menyertai percepatan tersebut masih belum diketahui.



Ketika mengamati galaksi-galaksi yang letaknya jauh, kita melihat bagaimana kondisi mereka di masa lalu. Galaksi-galaksi yang letaknya dekat berbeda dengan galaksi-galaksi jauh.



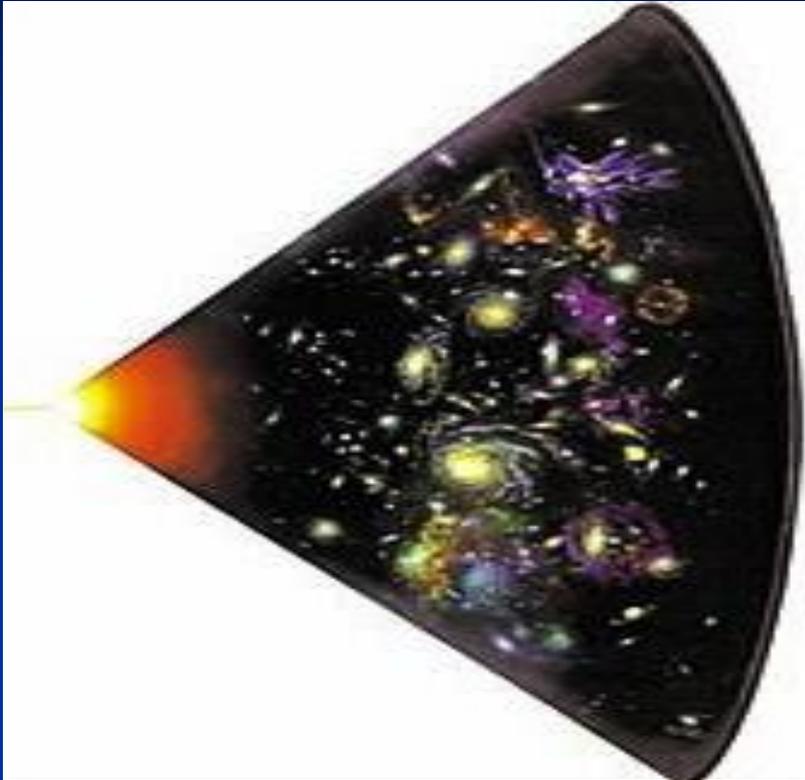
Galaksi Spiral
yang letaknya dekat



Galaksi-galaksi jauh
tampak kecil dan tidak
beraturan (amorf)



Evolusi



Ada batasan yang menyebabkan kita tidak memiliki informasi tentang kosmos

Kita tidak dapat mengamati bintang yang letaknya lebih jauh dari 14 milyar tahun cahaya dari kita.

Jika alam semesta kita ini berukuran kecil kita hanya dapat memperoleh sebagian kecil informasi, dan jika alam semesta dianggap tak terbatas maka hanya sebageaian kecil yang dapat diamati.



Bagian TAK TERLIHAT dari alam semesta, 95% materi gelap dan energi gelap, terdeteksi karena aksinya pada benda-benda yang TERLIHAT.

Kami tidak tahu jenis bahannya



Permukaan laut



Kita ini seperti ahli biologi kelautan, tapi kita hanya dapat melihat permukaan laut saja

Dasar laut

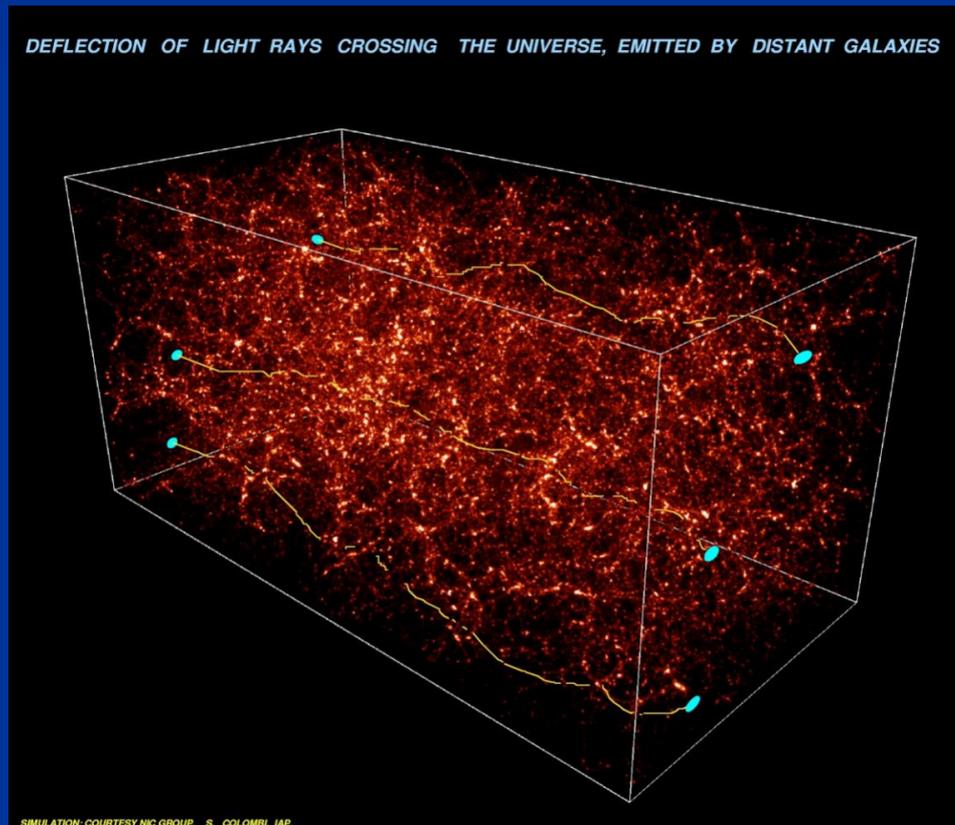


Jika kita melihat lebih dalam, kita dapat menemukan keberagaman yang mengagumkan



Materi gelap

Kita mengetahui bahwa selain suatu objek astronomi yang terdeteksi, masih terdapat ribuan lagi yang tidak mempunyai informasi, hanya diketahui materi yang bermassa. Kita tidak dapat menentukan bentuk dan distribusinya.

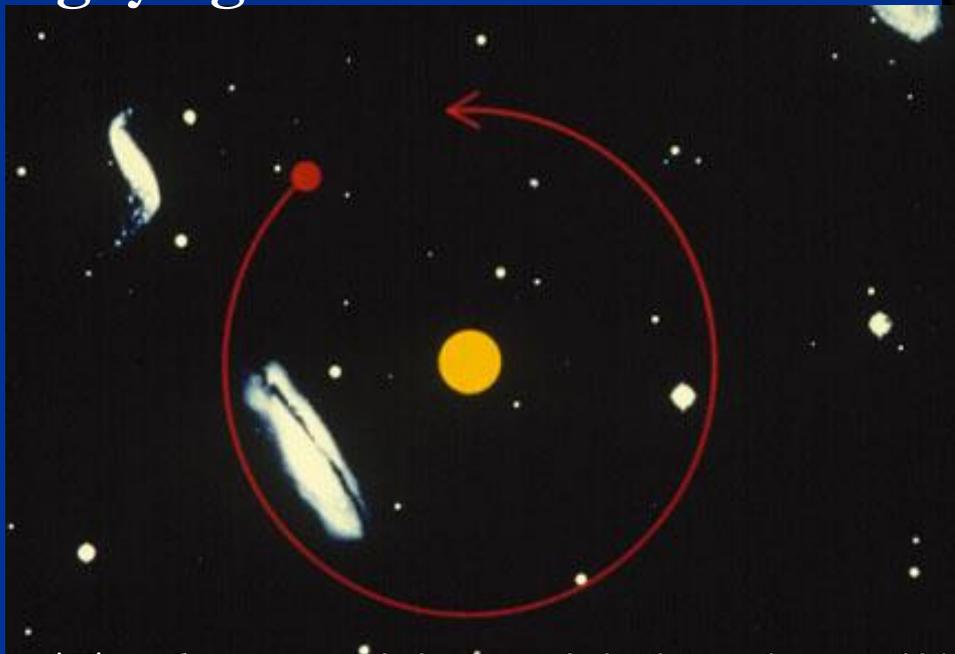


Materi ini dikenal sebagai materi gelap yang terdistribusi seperti filamen/jaring-jaring. Benda berwarna biru adalah galaksi-galaksi yang tersebar. Garis kuning adalah lintasan cahaya yang dipancarkan oleh galaksi-galaksi. Tanpa adanya materi gelap seharusnya lintasan tersebut lurus.

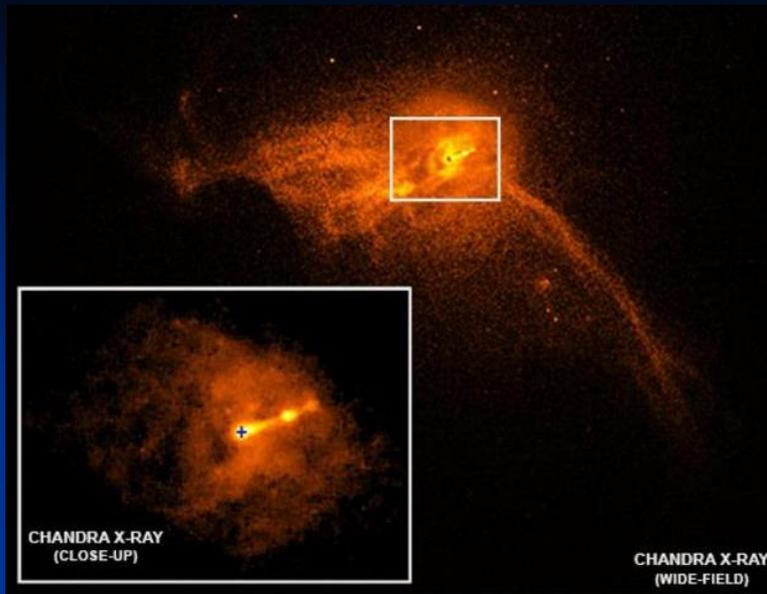


Bintang-bintang bergerak di sekitar pusat galaksi karena massanya menarik mereka. Kluster dari galaksi-galaksi tetap terikat karena adanya efek gaya gravitasi.

Materi gelap tidak terlihat, tetapi dapat dideteksi melalui efek gravitasi



Terdapat objek-objek tak terlihat yang bergerak disekitar objek lain. Contohnya, ada bintang-bintang dan kelompok bintang-bintang yang bergerak di sekitar lubang hitam.



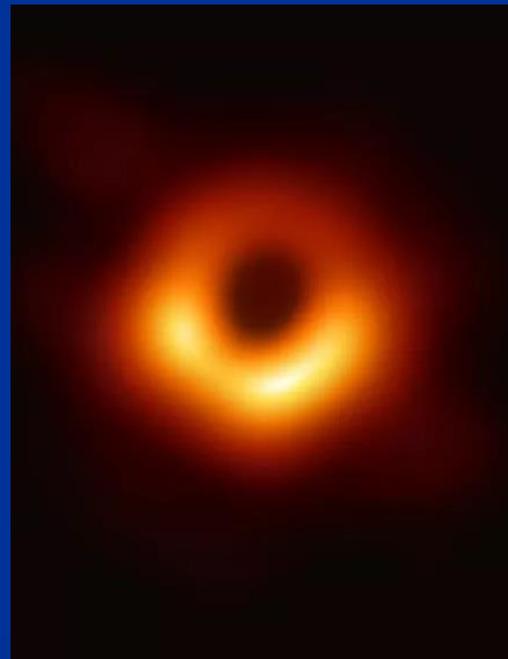
A consortium of more than 200 scientists and 60 institutions in 18 countries of 6 continents are part of the Event Horizon Telescope: 8 radio telescopes on all the Planet

Center of M87, distant 53.5 million l.y. from the Sun

(credit: NASA/CXC/Villanova University/J. Neilsen)

“Shadow” and the event horizon of the supermassive black hole in the center of M87, 6.5 billion times more massive than our Sun

(credit: Event Horizon Telescope)



The first image ever taken of a supermassive black hole, was presented at a press conference on April 10th 2019

Evolusi Alam Semesta

Dalam rentangan waktu yang panjang, alam semesta kita terus-menerus berkembang. Kecepatan ekspansinya bertambah seiring pertambahan waktu, dengan kata lain mengalami percepatan. Energi yang menyertai percepatan ini masih belum diketahui. Kita mengatakannya sebagai energi gelap (dark energy)

Setelah ~trilyunan tahun semua material antar bintang telah dikonsumsi dan pembentukan bintang akan berhenti.

Proton-proton akan meluruh, dan lubang hitam akan lenyap.

Alam semesta kita akan mengembang menjadi sangat besar, dan dihuni oleh material eksotik dan gelombang radio energi rendah.



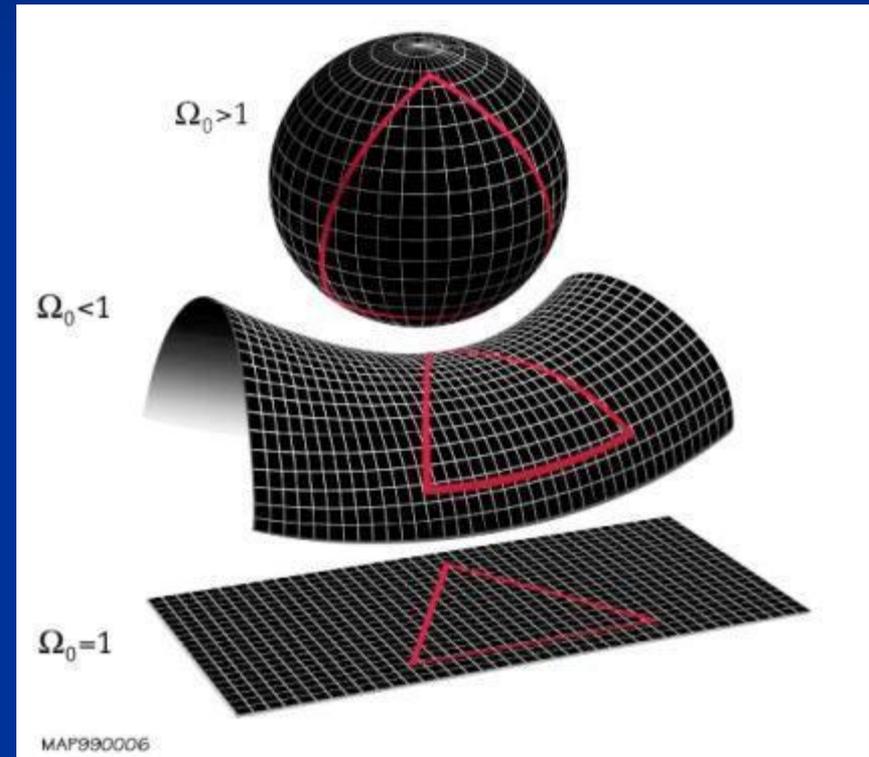
Bentuk dari alam semesta bergantung pada konstanta Kosmologi

Tertutup $\rightarrow \Omega > 1$

Terbuka $\rightarrow \Omega < 1$

Datar $\rightarrow \Omega = 1$

(diprediksi berdasarkan perkembangan teori dan disesuaikan dengan hasil observasi)



Evolusi bergantung pada materi yang terkandung di alam semesta

Konstanta Kosmologi

$$\Omega_{\text{total}} = 1.0$$



Unsur-unsur berat

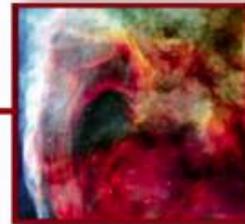
0.03%



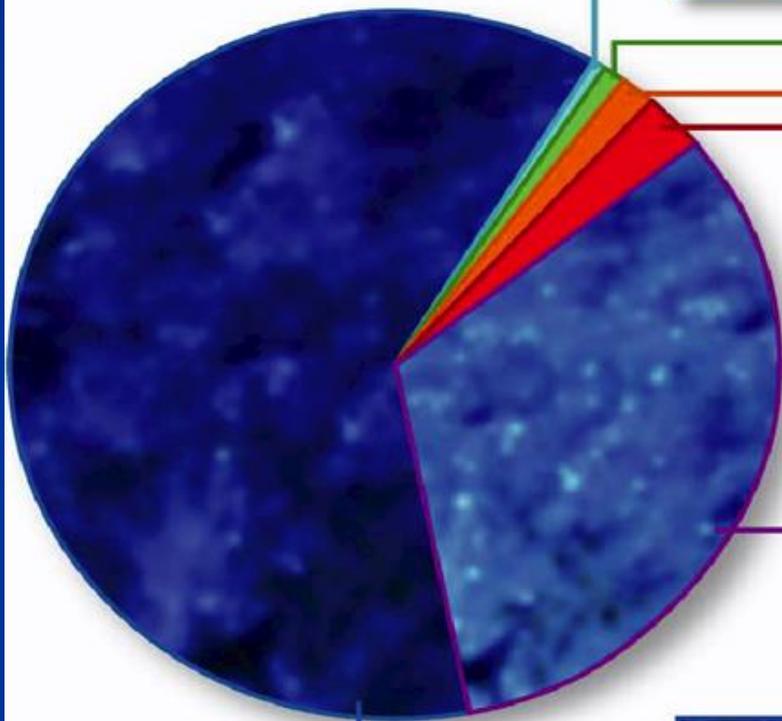
Partikel Neutrino



Bintang-bintang



Atom H dan He yang bebas



Materi Gelap

25%

Energi Gelap

70%

Model yang Sukses: Big Bang (Ledakan Besar) (prediksi-verifikasi)

- **Ekspansi:**

Terbukti pada awal abad 20 oleh E. Hubble.

- **Latar Belakang Radiasi Kosmis:**

ditemukan pada abad 20 oleh Penzias and Wilson.

- **Kelimpahan unsur-unsur kimiawi:**

didemonstrasikan pada abad 20.

- **Struktur Skala Besar:** ditemukan pada akhir abad 20.



Keadaan akhir Alam Semesta (skenario yang mungkin)

- Big Crunch (lawan dari ekspansi)
- Datar, thermal death (proses ekspansi berhenti)
- **Tak terbatas, datar, ekspansi terus-menerus
(skenario yang diterima sekarang)**
- Big Rip (ekspansi yang dipercepat)

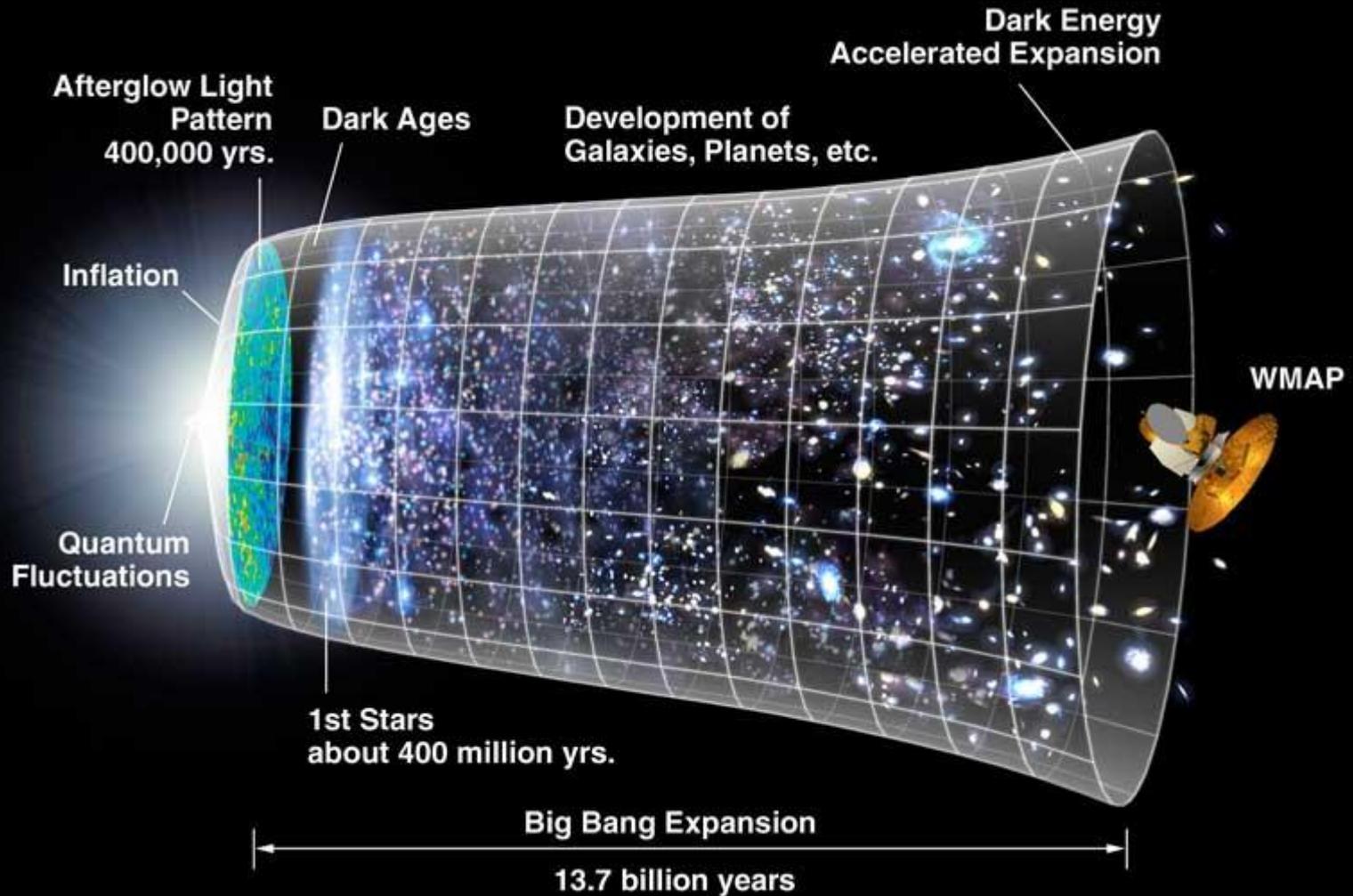
Masa Depan bergantung pada materi yang terkandung dalam alam semesta, pada keadaan kritis, dan pada keberadaan energi materi gelap.



Bentuk dan takdir akhir dari alam semesta

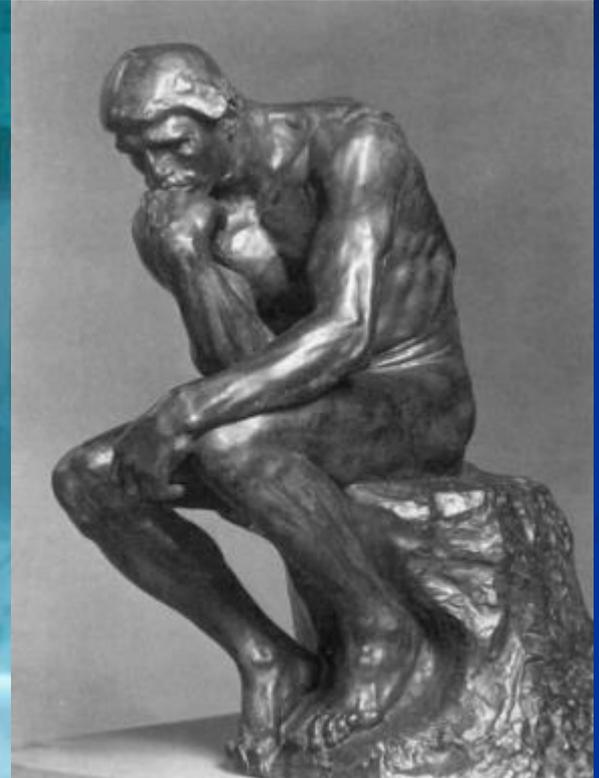


Sejarah Alam Semesta



Penutup

Kita hidup di zaman yang luar biasa, dimana kita dapat berpikir tentang alam semesta ini menggunakan hukum-hukum fisika.



Seiring perkembangan waktu, sangat mungkin suatu ide berubah, It is possible that with time our ideas change, tetapi itulah cara kerja ilmu pengetahuan



**Terima kasih
atas perhatian Anda!**