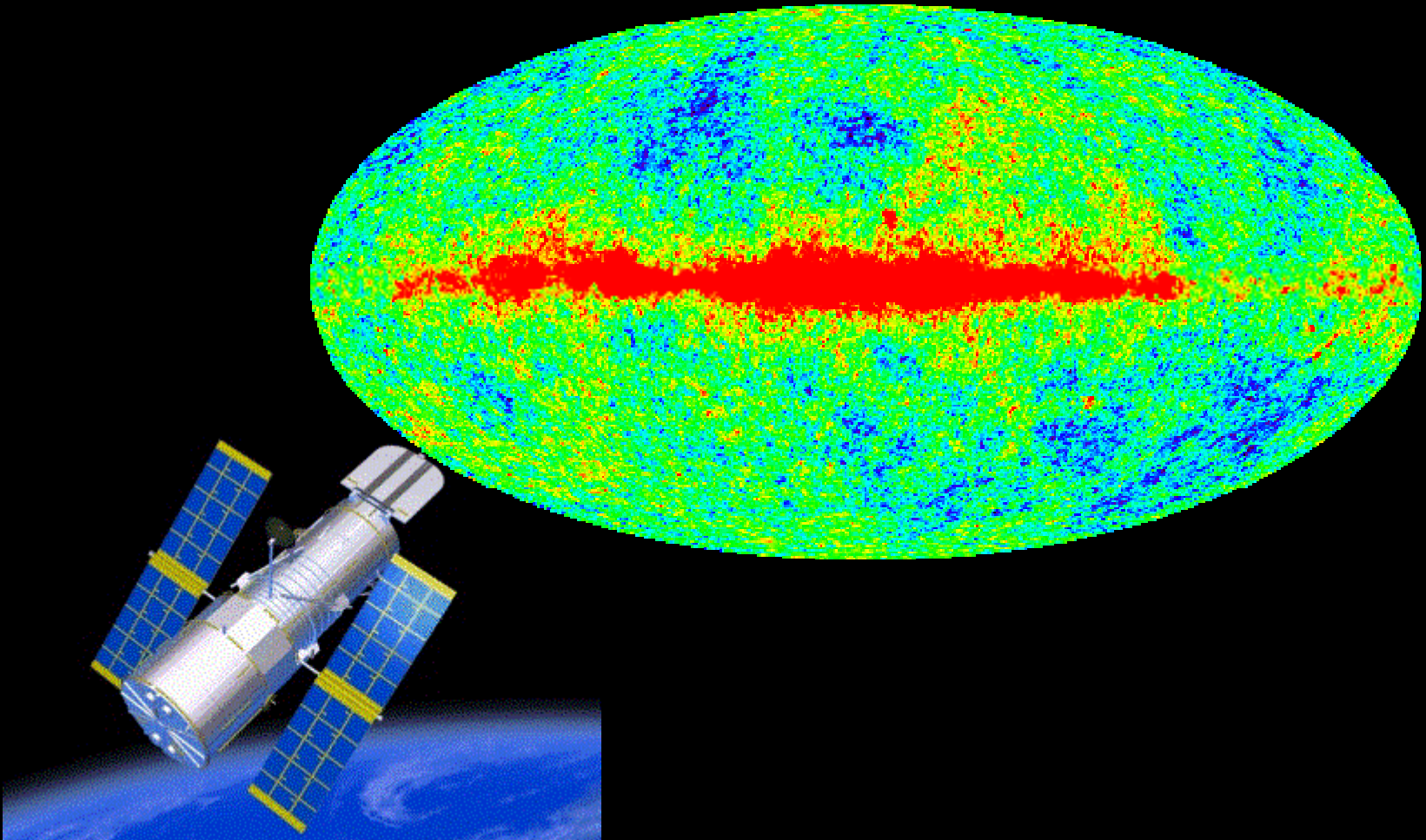


# MODERNE KOSMOLOGI

STEEN HANNESTAD, INSTITUT FOR FYSIK OG ASTRONOMI



T (K)

t (år)

$10^{30}$

$10^{-44}$  sekunder



Planck tiden

1 mia.

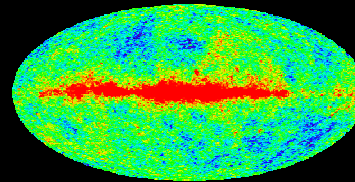
10 sekunder

He, D, Li

Dannelse af grundstoffer

3000

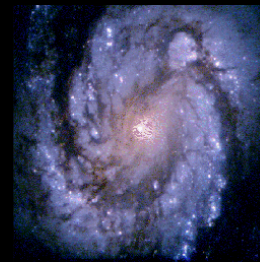
300.000



Baggrundsstråling

50

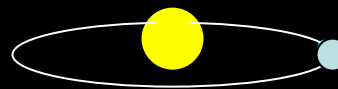
1 mia.



Galakse-dannelse

2,7

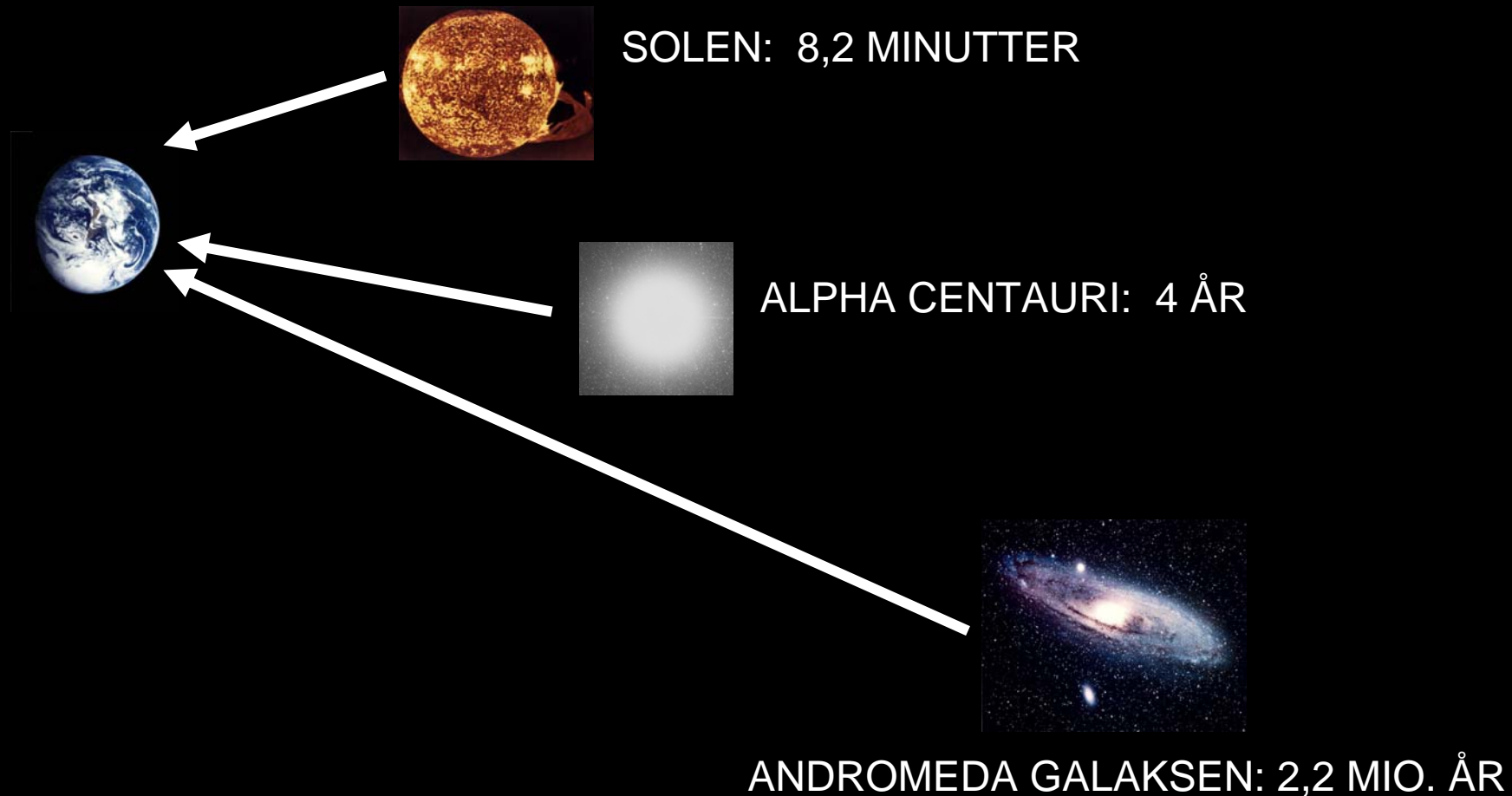
13 mia.



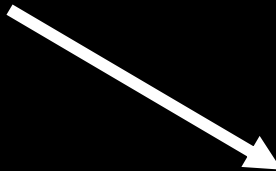
Nu

# HVORDAN VED VI ALT DET?

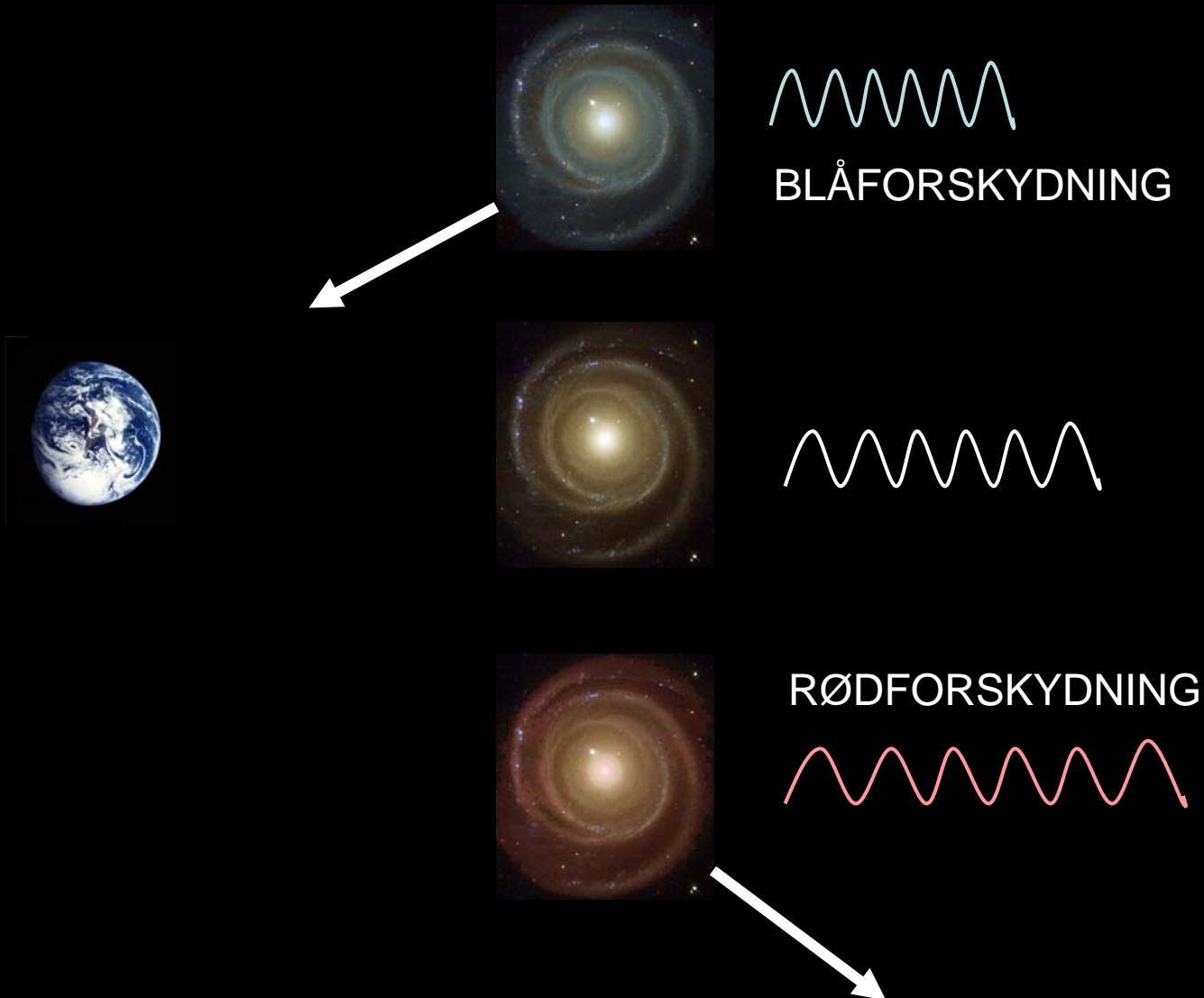
FORDI LYSET BEVÆGER SIG MED EN ENDELIG HASTIGHED (300.000 KM/S), SER VI BAGUD I TIDEN, NÅR VI SER LANGT BORT



FRA OBSERVATIONER AF FJERNE GALAKSER VED VI, AT DE ALLE BEVÆGER SIG VÆK FRA OS OG, AT JO LÆNGERE DE ER VÆK, DESTO HURTIGERE BEVÆGER DE SIG



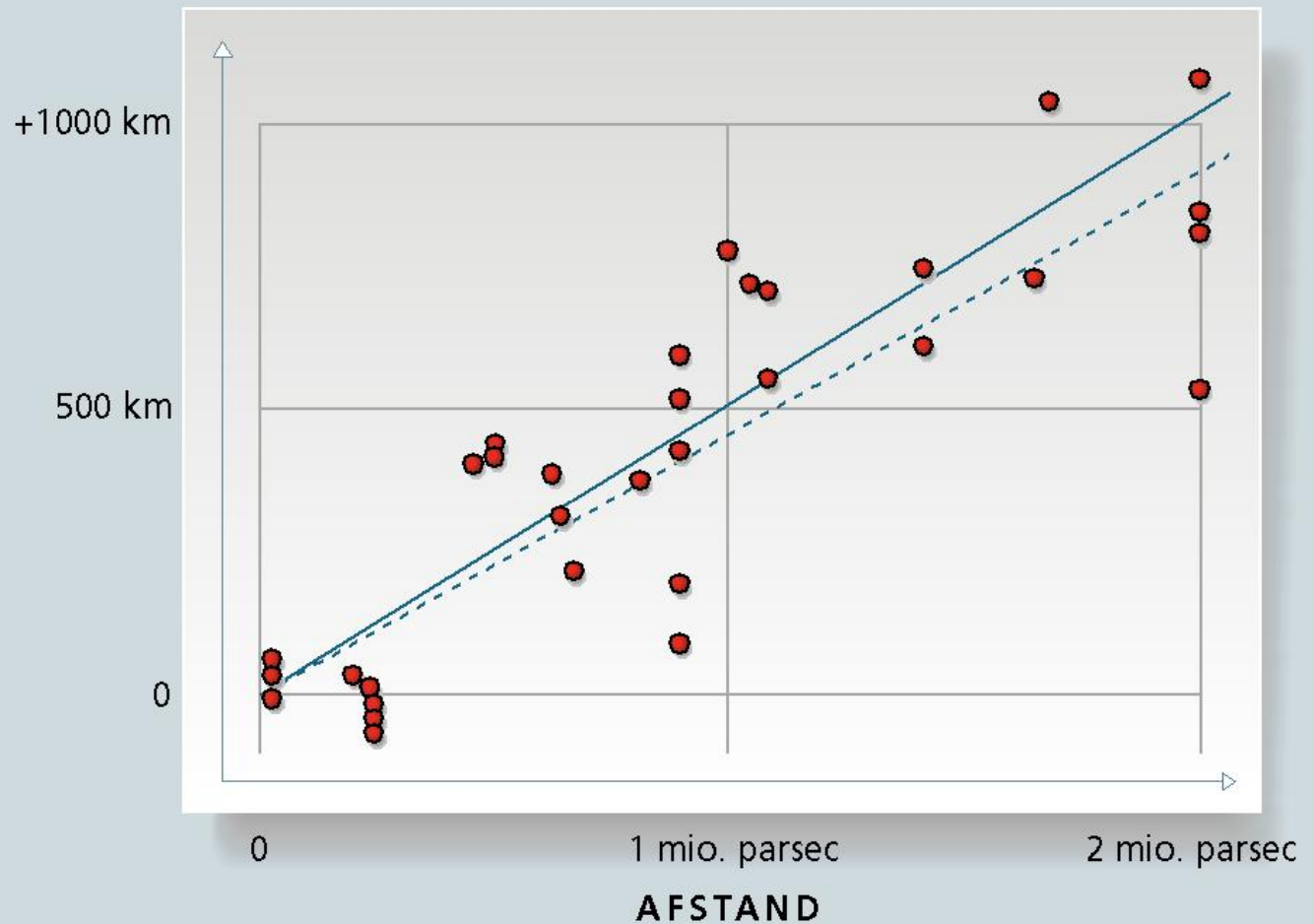
# HVORDAN VED VI DET? DOPPLER EFFEKTEN



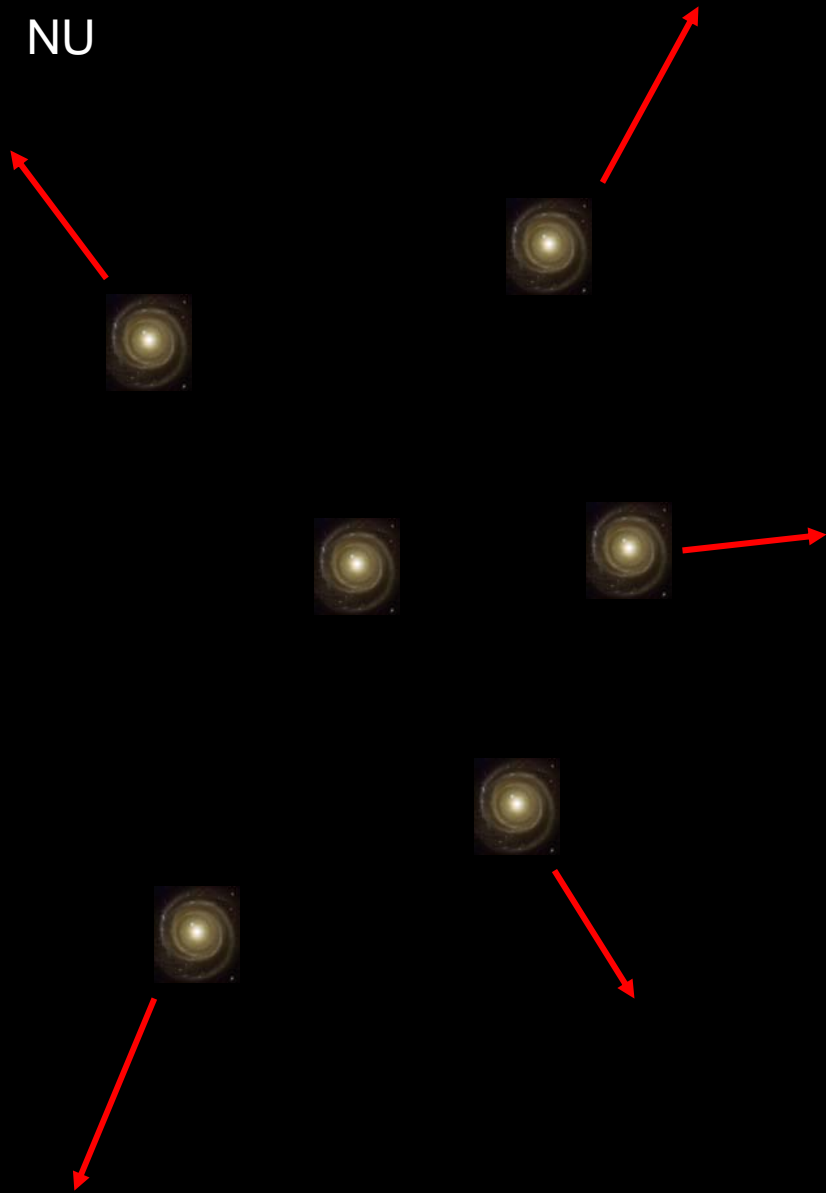
DEN AMERIKANSKE ASTRONOM EDWIN HUBBLE FANDT I 1929, AT ALLE GALAKSER FJERNER SIG, OG AT DER ER EN LINEÆR SAMMENHÆNG MELLEM DERES HASTIGHED OG AFSTAND

14

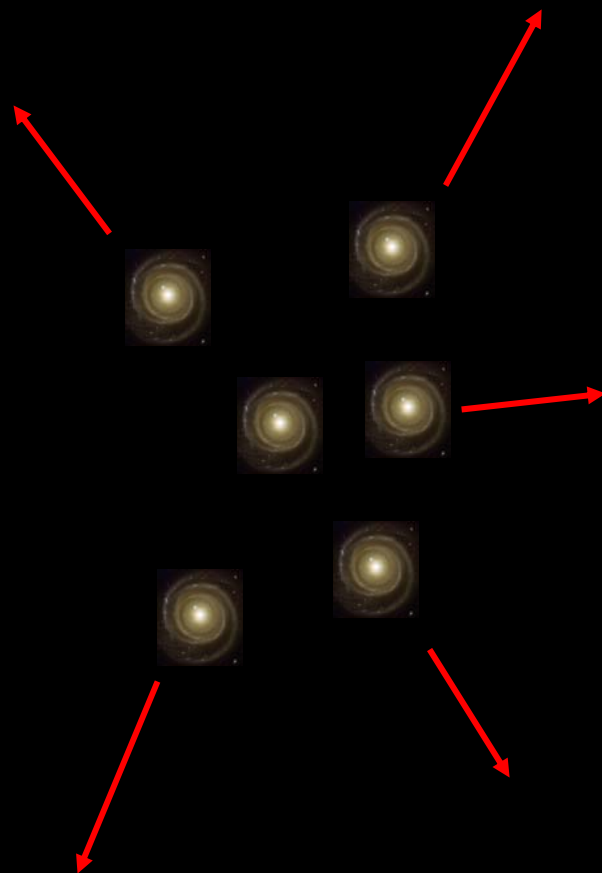
HASTIGHED km/s



NU



FØR



VORES UNIVERS MÅ ALTSÅ HAVE HAFT EN BEGYNDELSE!!!

KOMMER DET SÅ OGSÅ TIL EN AFSLUTNING EN GANG  
I FREMTIDEN?

DETTE AFHÆNGER AF TO TING:

1) MÆNGDEN AF MASSE I UNIVERSET

$$\Omega_M$$

2) DEN KOSMOLOGISKE KONSTANT (ANTI-TYNGDEKRAFT)

$$\Omega_\Lambda$$





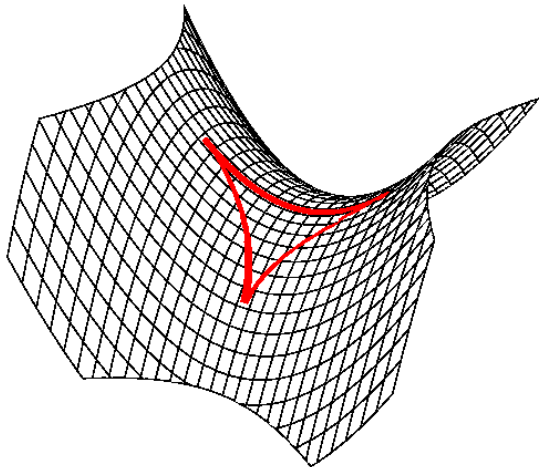
# UNIVERSETS GEOMETRI

UNIVERSETS GEOMETRI AFHÆNGER OGSÅ AF  
UNIVERSETS MASSE OG DEN KOSMOLOGISKE  
KONSTANT

$$\text{KRUMNING} = k = \Omega_M + \Omega_\Lambda - 1 = \Omega - 1$$

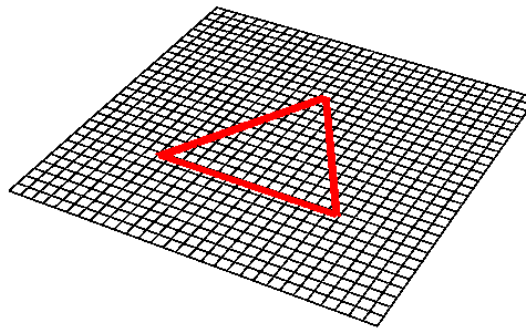
ÅBENT UNIVERS

$$k = -1, \Omega < 1$$



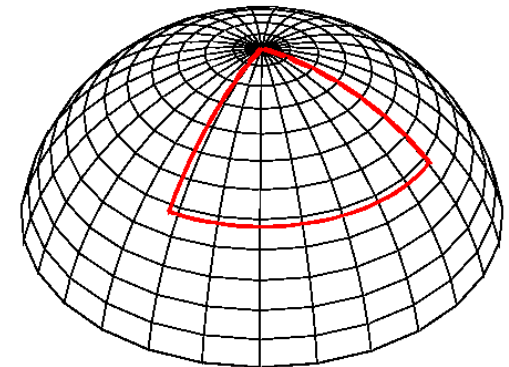
FLADT UNIVERS

$$k = 0, \Omega = 1$$



LUKKET UNIVERS

$$k = 1, \Omega > 1$$



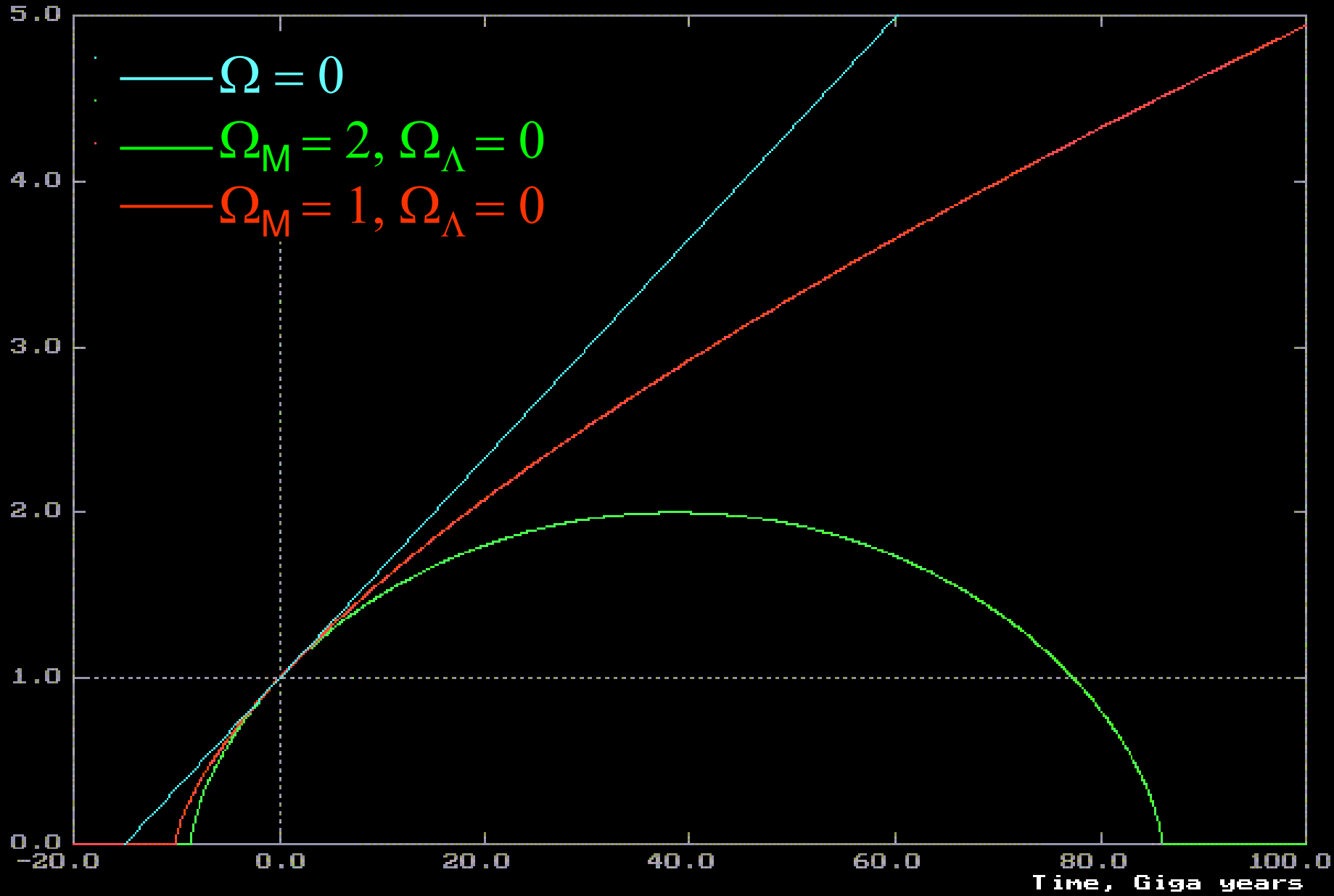
ET TOMT UNIVERS UDVIDER SIG LINEÆRT MED TIDEN

$$\text{STØRRELSE} = Kt$$

MASSE VIL PÅ GRUND AF TYNGDEKRAFTEN BREMSE  
UDVIDELSEN

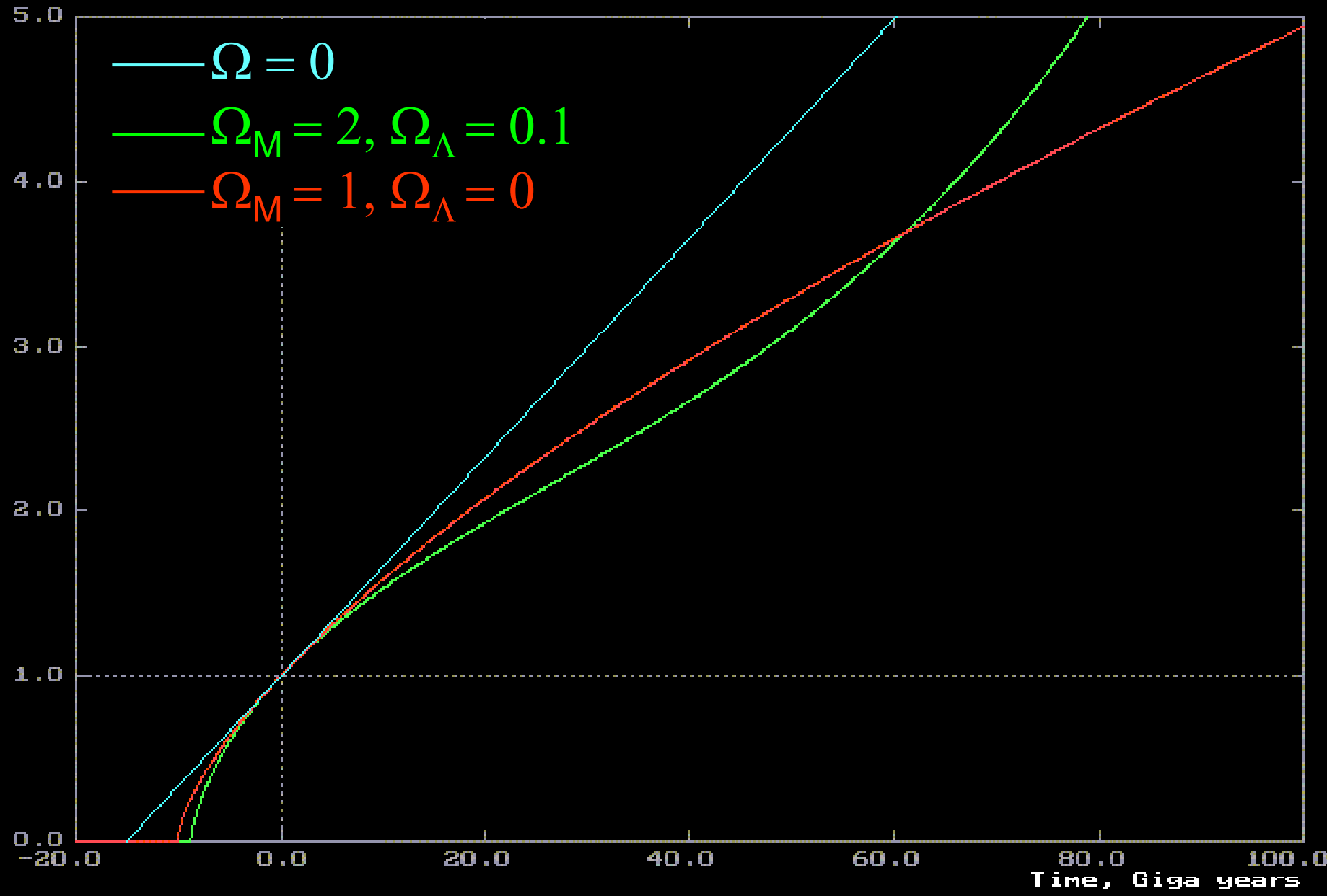
HVIS  $\Omega_M > 1$  KOLLAPSER UNIVERSET I ET "BIG CRUNCH"

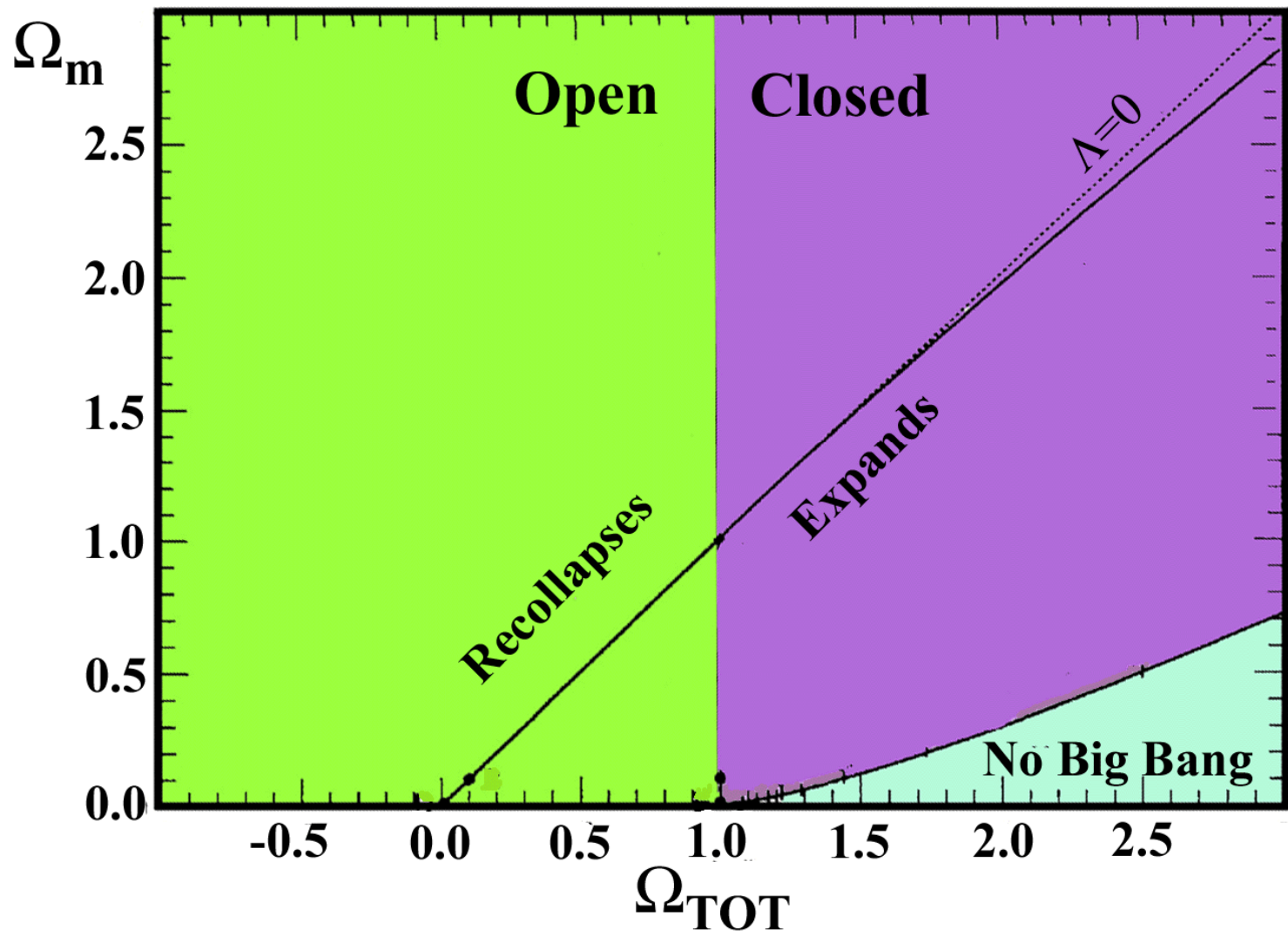
Scale factor  $R(t)/R(0)$



DEN KOSMOLOGISKE KONSTANT VIRKER SOM  
EN ANTI-TYNGDEKRAFT OG FÅR UNIVERSET  
TIL AT UDVIDE SIG HURTIGERE

Scale factor  $R(t)/R(0)$





# DET TOTALE BIDRAG TIL $\Omega_M$ FRA ALMINDELIGT STOF

Globular Cluster M15



Hubble  
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC00-25

Stjerner:  $\Omega \sim 0.005$



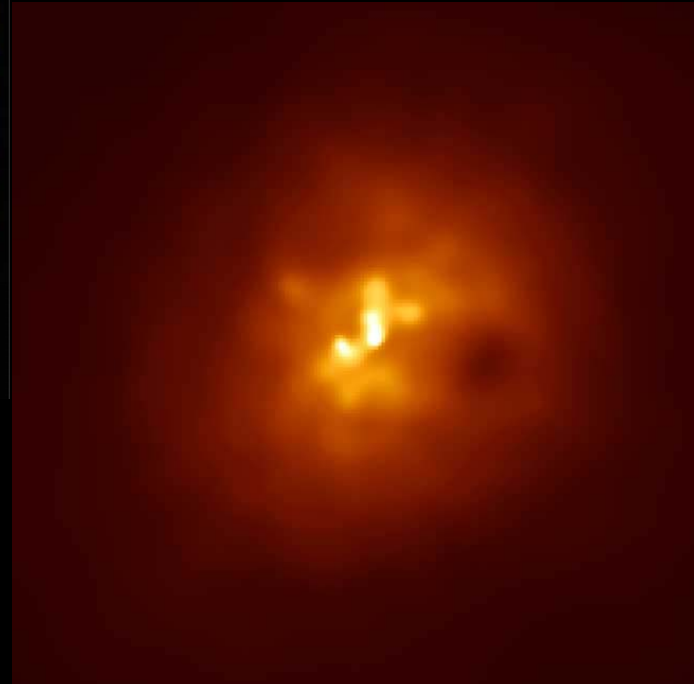
NGC 3603  
Hubble Space Telescope • WFPC2

PRC99-20 • STScI OPO  
Wolfgang Brandner (JPL/IPAC), Eva K. Grebel (University of Washington),  
You-Hua Chu (University of Illinois, Urbana-Champaign) and NASA

Interstellar gas:  
 $\Omega \sim 0.005$

Gas i galaksehobe:  
 $\Omega \sim 0.03$

$\Omega_{\text{normalt stof}} \sim 0.04 - 0.05$



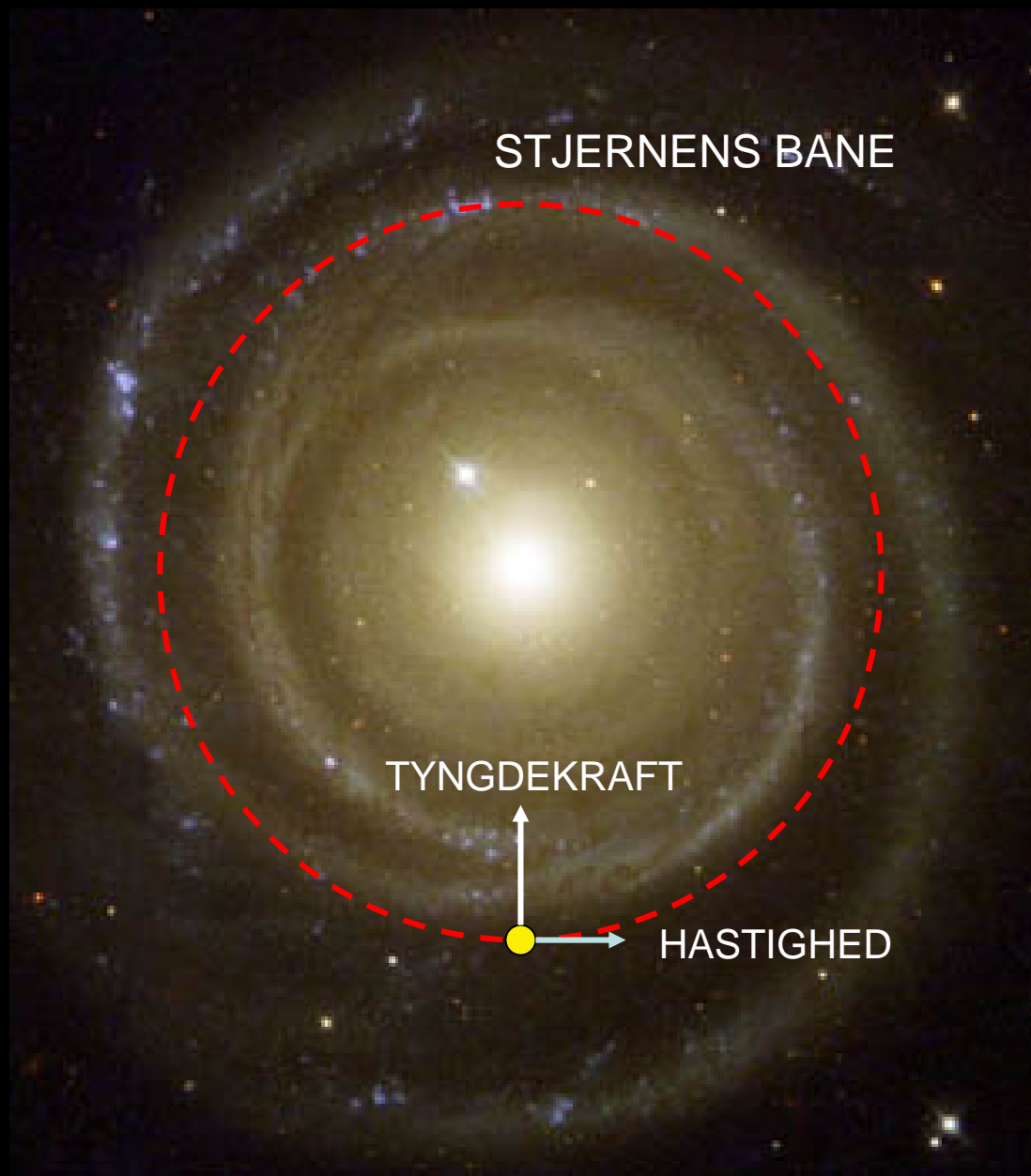


DEN UMIDDELBARE KONKLUSION ER, AT UNIVERSET UDVIDER  
SIG FOR EVIGT, MEN LANGSOMMERE OG LANGSOMMERE.

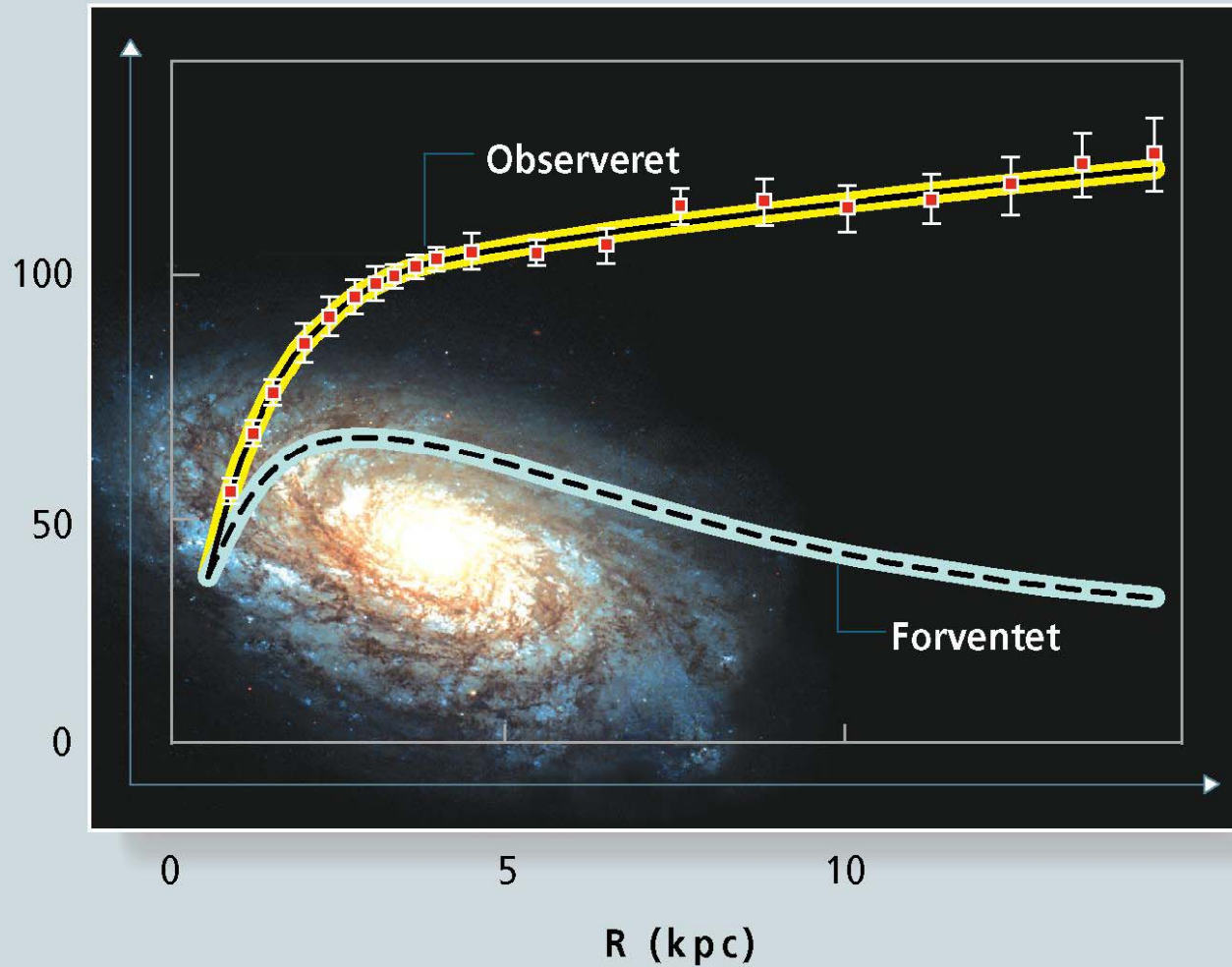
ER DET NU OGSÅ RIGTIGT?

HVAD, HVIS DER ER STOF, VI IKKE KAN SE?

# EN GALAKSES MASSE KAN FINDES UD FRA EN STJERNES BANE

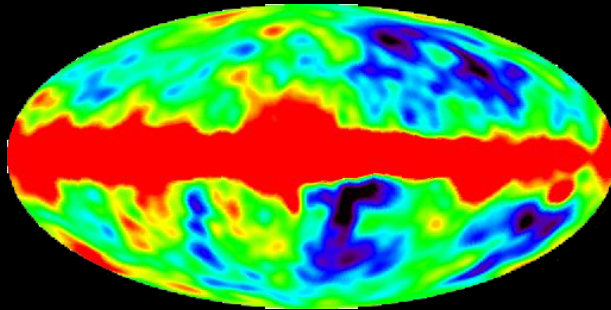


HASTIGHED (km/s)

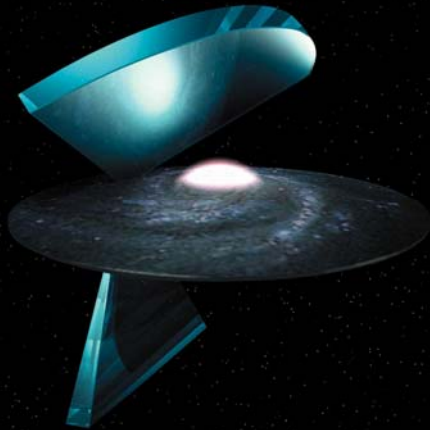


EN TYPISK GALAKSE INDEHOLDER OMKRING 10 GANGE SÅ MEGET MASSE, SOM DET SYNLIGE - MØRKT STOF

ER DER NOGEN MÅDE AT MÅLE DE  
"GLOBALE" VÆRDIER AF  $\Omega_M$  OG  $\Omega_\Lambda$ ?

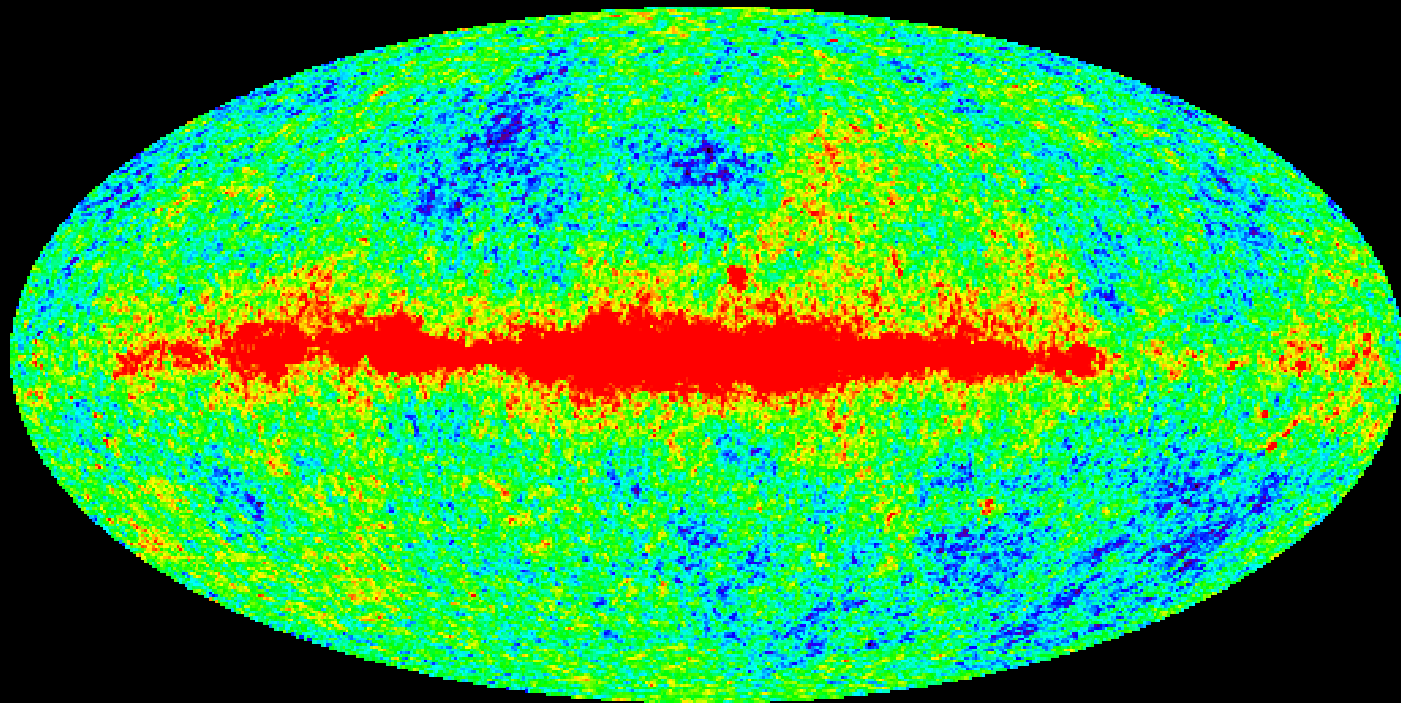


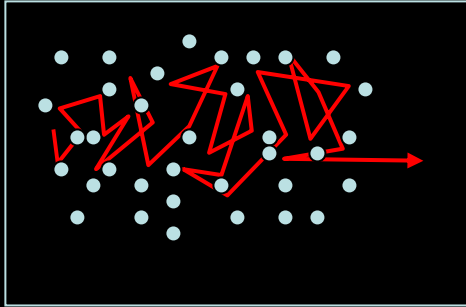
DEN KOSMISKE BAGGRUNDS-  
STRÅLING



GALAKSERNES FORDELING

# DEN KOSMISKE BAGGRUNDSSTRÅLING

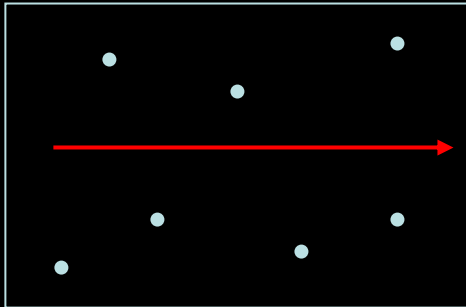




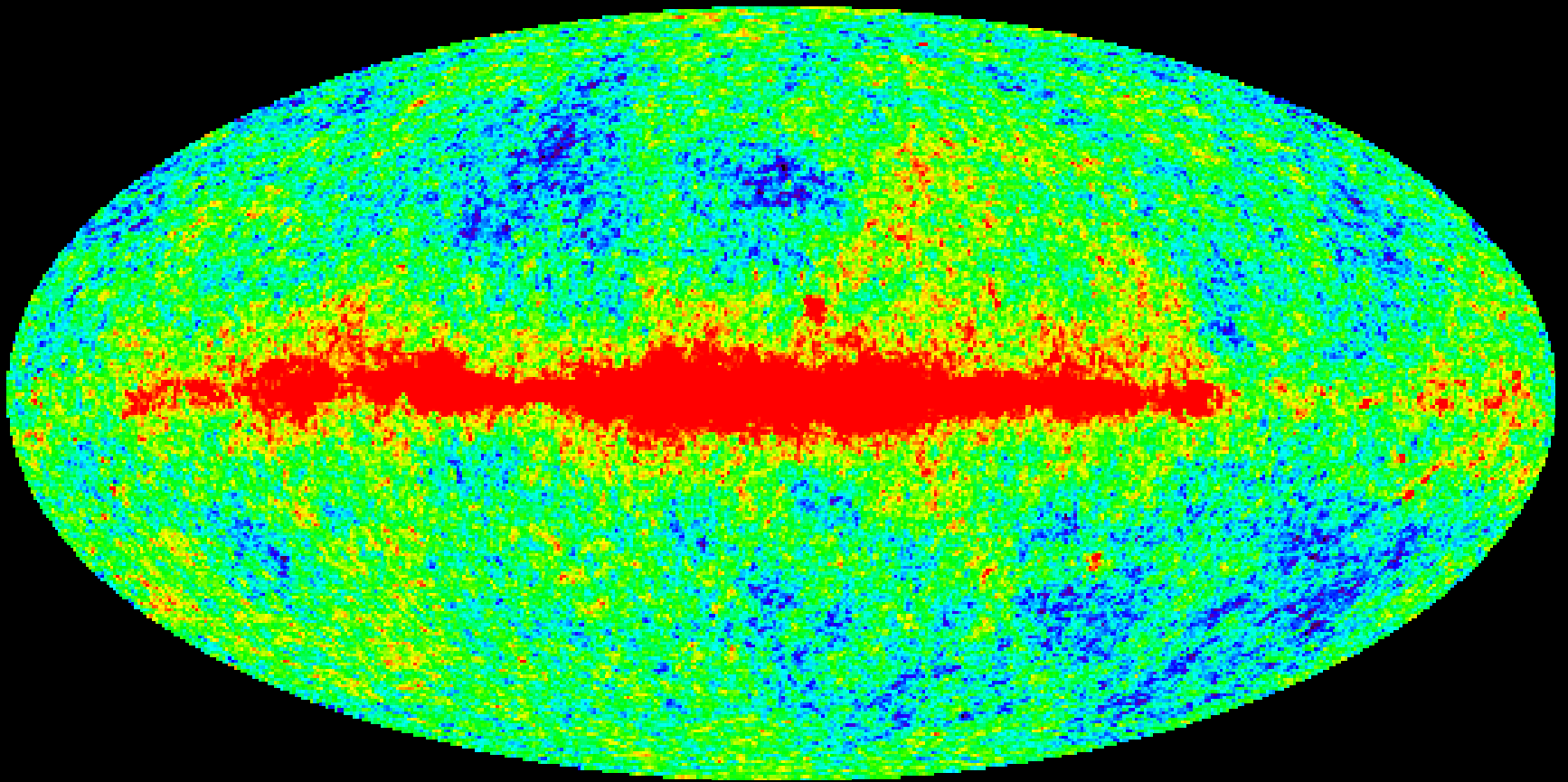
DET TIDLIGE UNIVERS:  
MEGET VARMT OG TÆT  
IKKE GENNEMSIGTIGT FOR LYS



UNIVERSETS ALDER: CA. 300.000 ÅR



DET NUVÆRENDE UNIVERS:  
MEGET KOLDT OG TOMT  
GENNEMSIGTIGT FOR LYS



DER FINDES UJÆVNHEDER I BAGGRUNDSSTRÅLINGEN. DET ER DISSE SMÅ UJÆVNHEDER, SOM SIDEN ER VOKSET OG BLEVET TIL GALAKSER, STJERNER, OG I SIDSTE ENDE OS....

VED AT MÅLE UJÆVNHEDERNE KAN MAN FAKTISK BESTEMME UNIVERSETS GEOMETRI

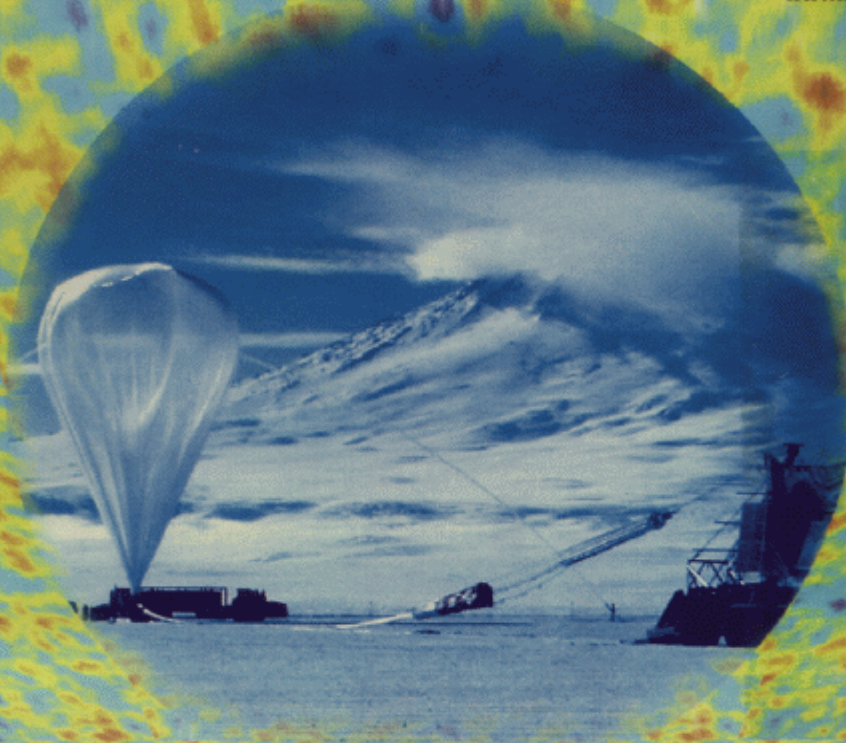
27 April 2000

International weekly journal of science

# nature

£5.45 €8.29 FF64 DM16 Lit16000 A\$16.50

www.nature.com



## Background to a flat Universe

**RNA viruses** Structure of the reovirus core

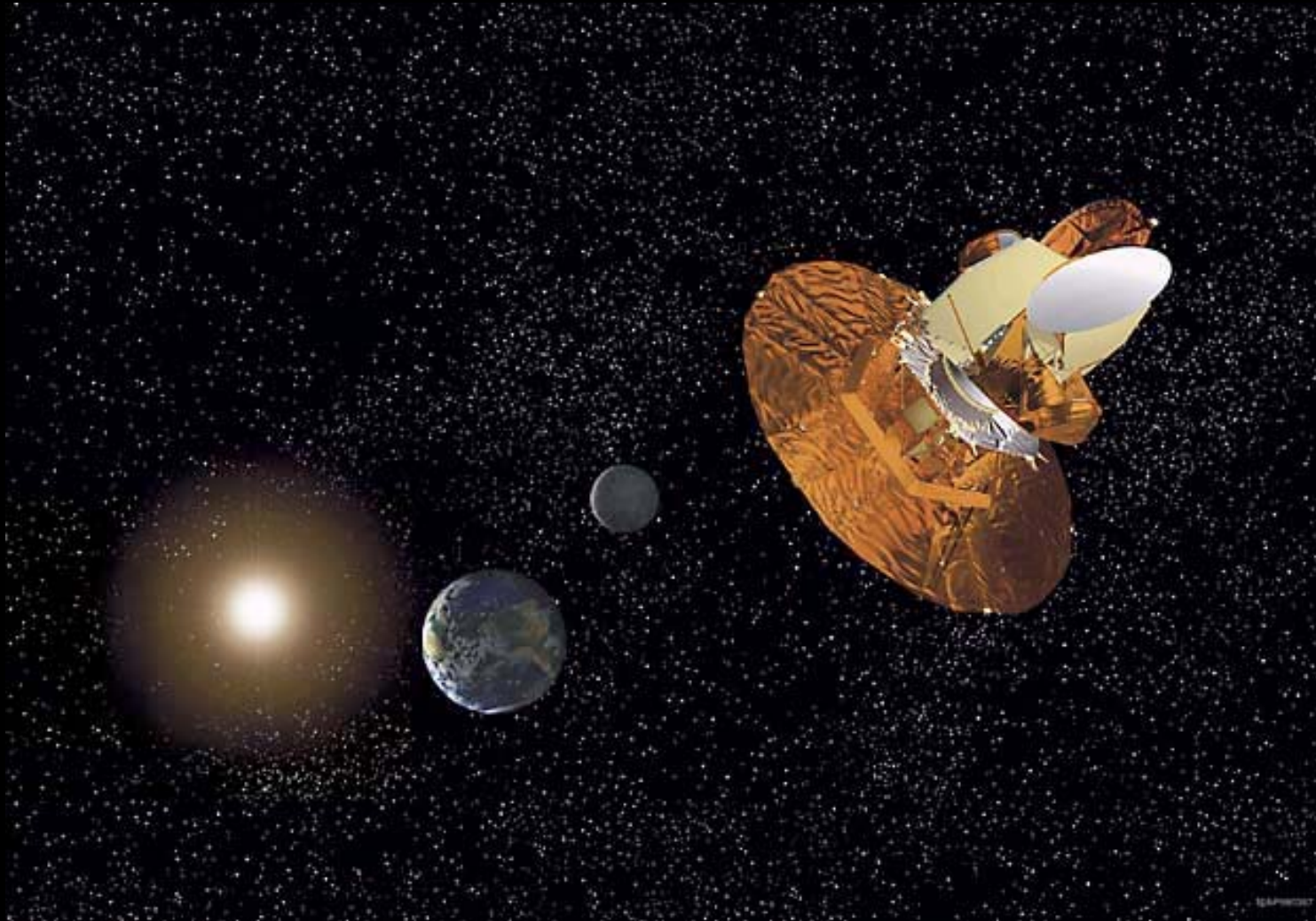
**Heat flow** The quantum limit

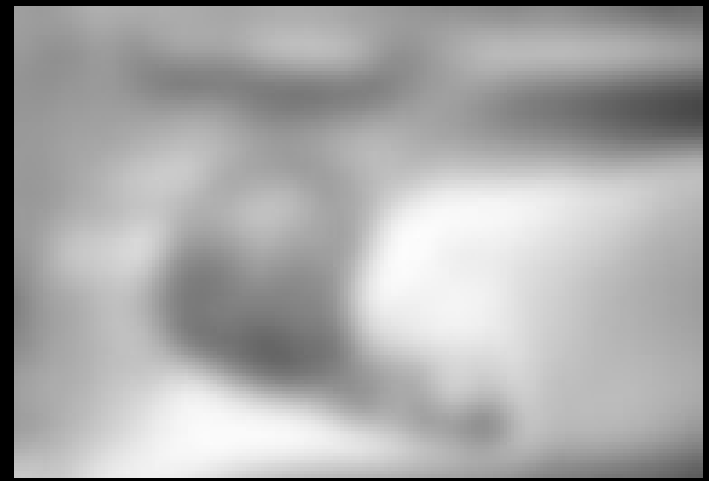
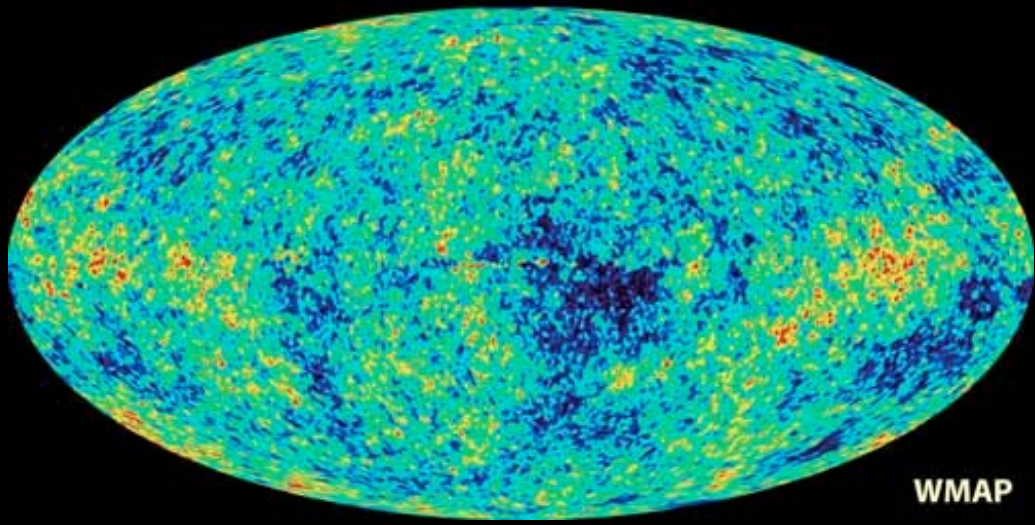
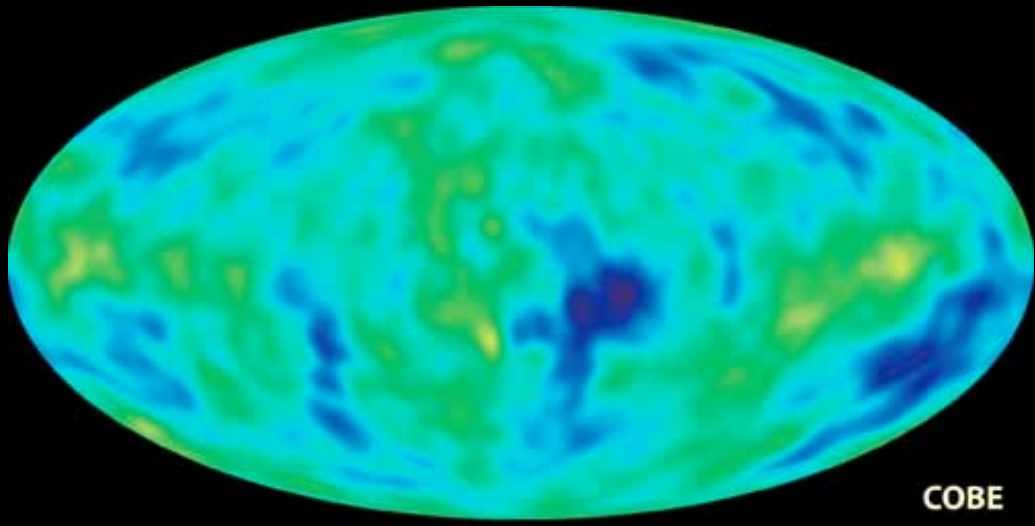
**Neuroscience** Sleep-promoting neurons





DEN AMERIKANSKE MAP SATELLIT BLEV OPSENDT I 2001 OG HAR NETOP OFFENTLIGGJORT DE FØRSTE DATA

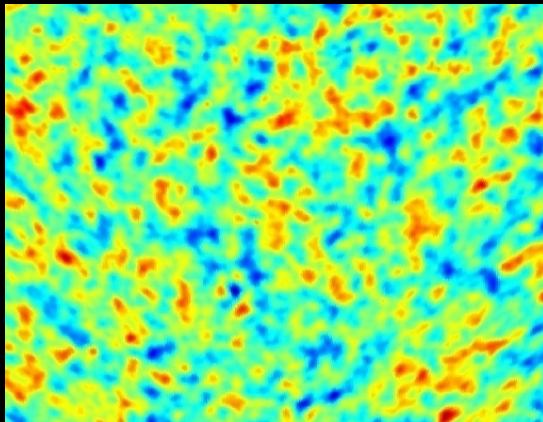
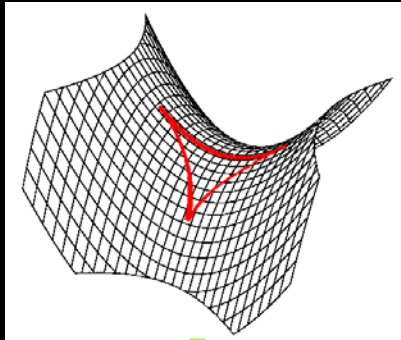




# UNIVERSETS GEOMETRI KAN MÅLES FRA BAGGRUNDSSTRÅLINGEN

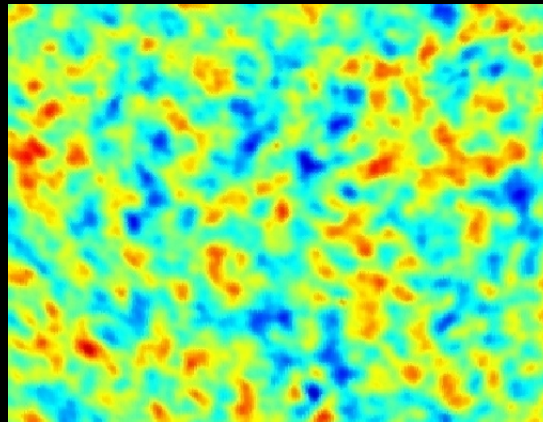
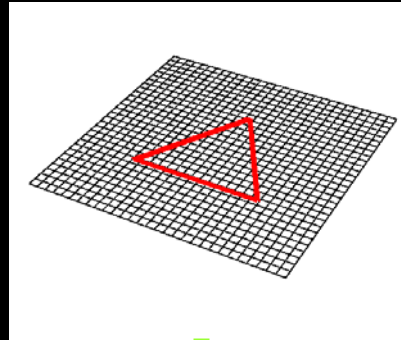
Åbent univers

$$\Omega < 1$$



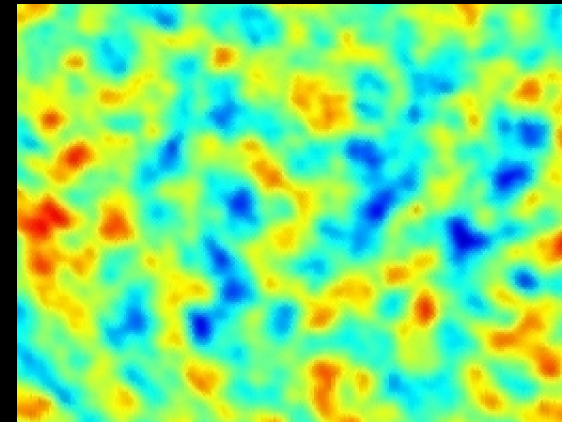
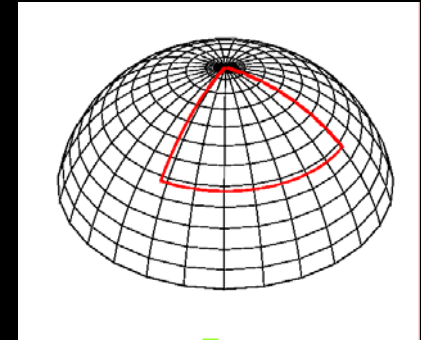
Fladt univers

$$\Omega = 1$$



Lukket univers

$$\Omega > 1$$

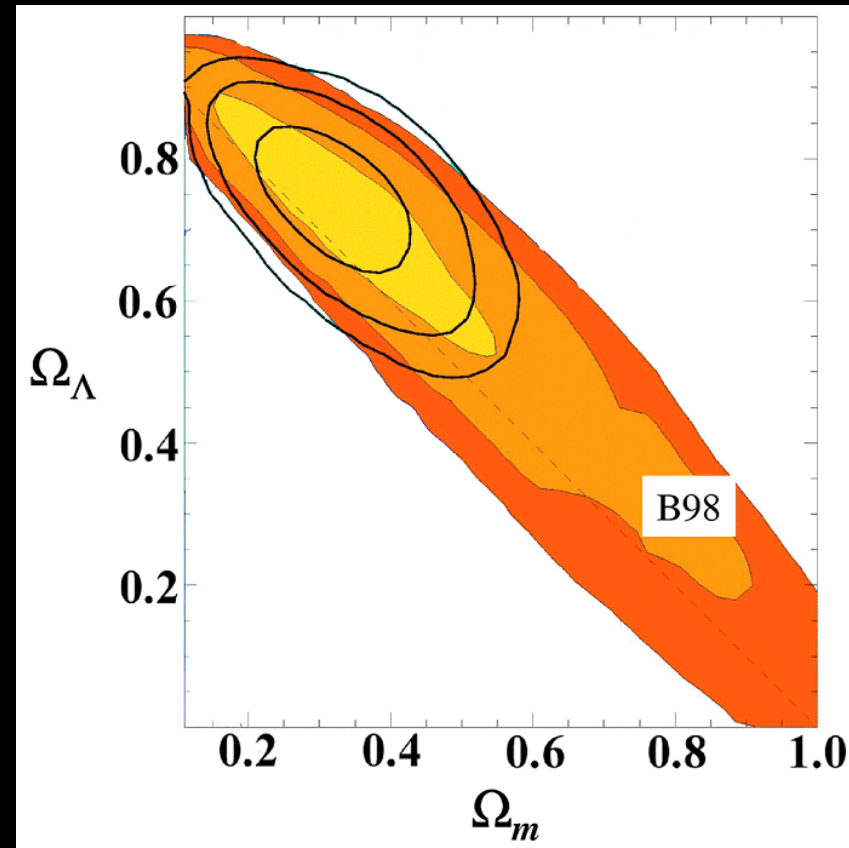


# KOSMOLOGI EFTER MAP

UNIVERSET ER MEGET TÆT PÅ  
AT HAVE FLAD GEOMETRI

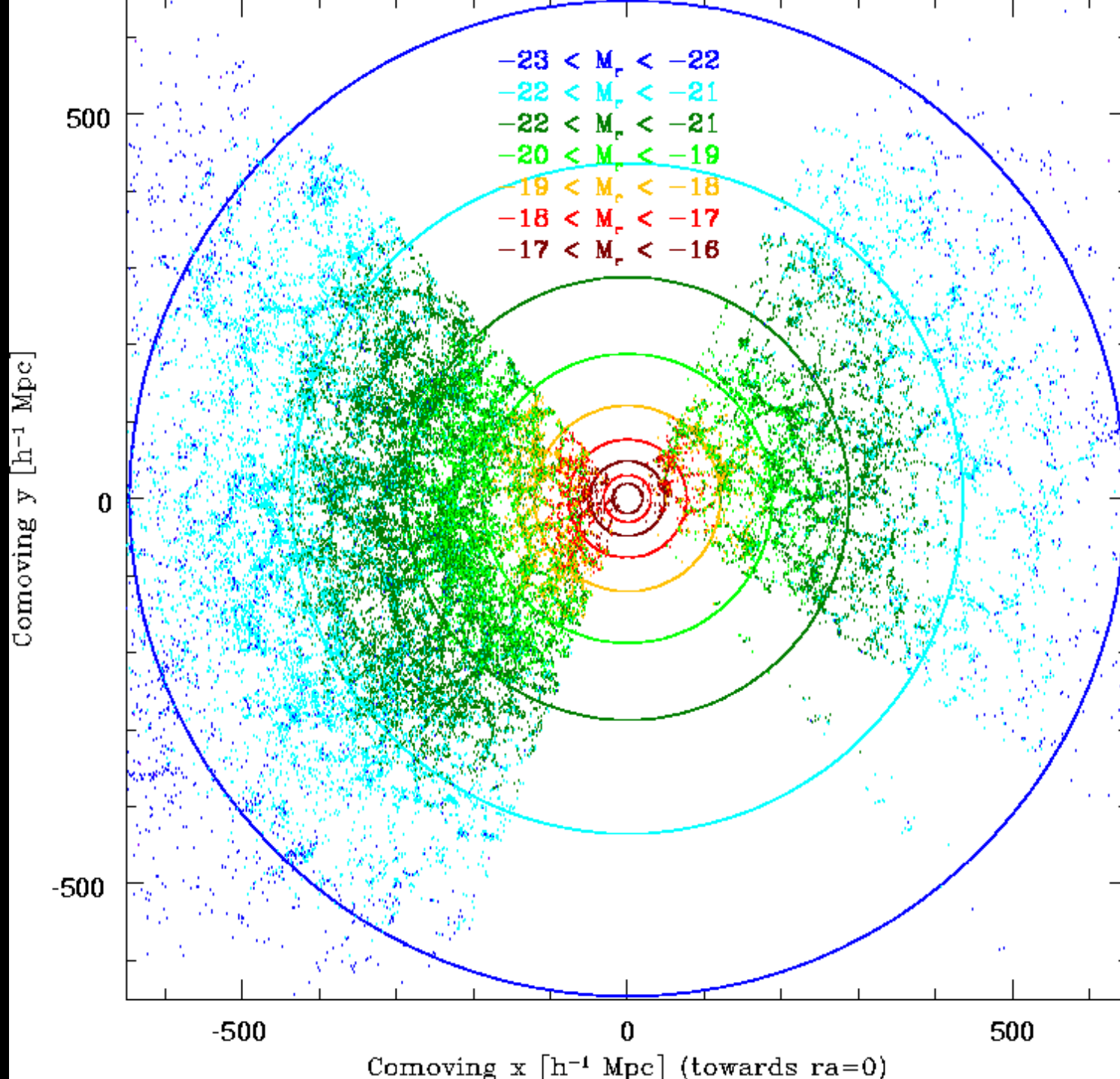
$$\Omega_{\text{TOT}} = \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1.02^{+0.02}_{-0.02}$$

MÅLINGERNE TYDER PÅ, AT  
DEN KOSMOLOGISKE KONSTANT  
FAKTISK GIVER DET STØRSTE  
BIDRAG!!



# MÅLING AF GALAKSERNES FORDELING (SLOAN DIGITAL SKY SURVEY)





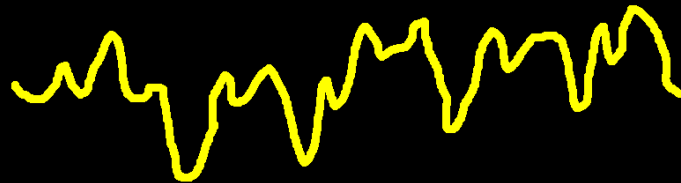


# GALAKSERNES PLACERING I RUMMET KAN FORSTÅS UD FRA BIG BANG TEORIEN

1: DET TIDLIGE UNIVERS  
(BAGGRUNDSSTRÅLING)



2: CA. 1 MIA. ÅR, DE FØRSTE  
GALAKSER DANNES



3: VORES NUVÆRENDE  
UNIVERS





$z=50$

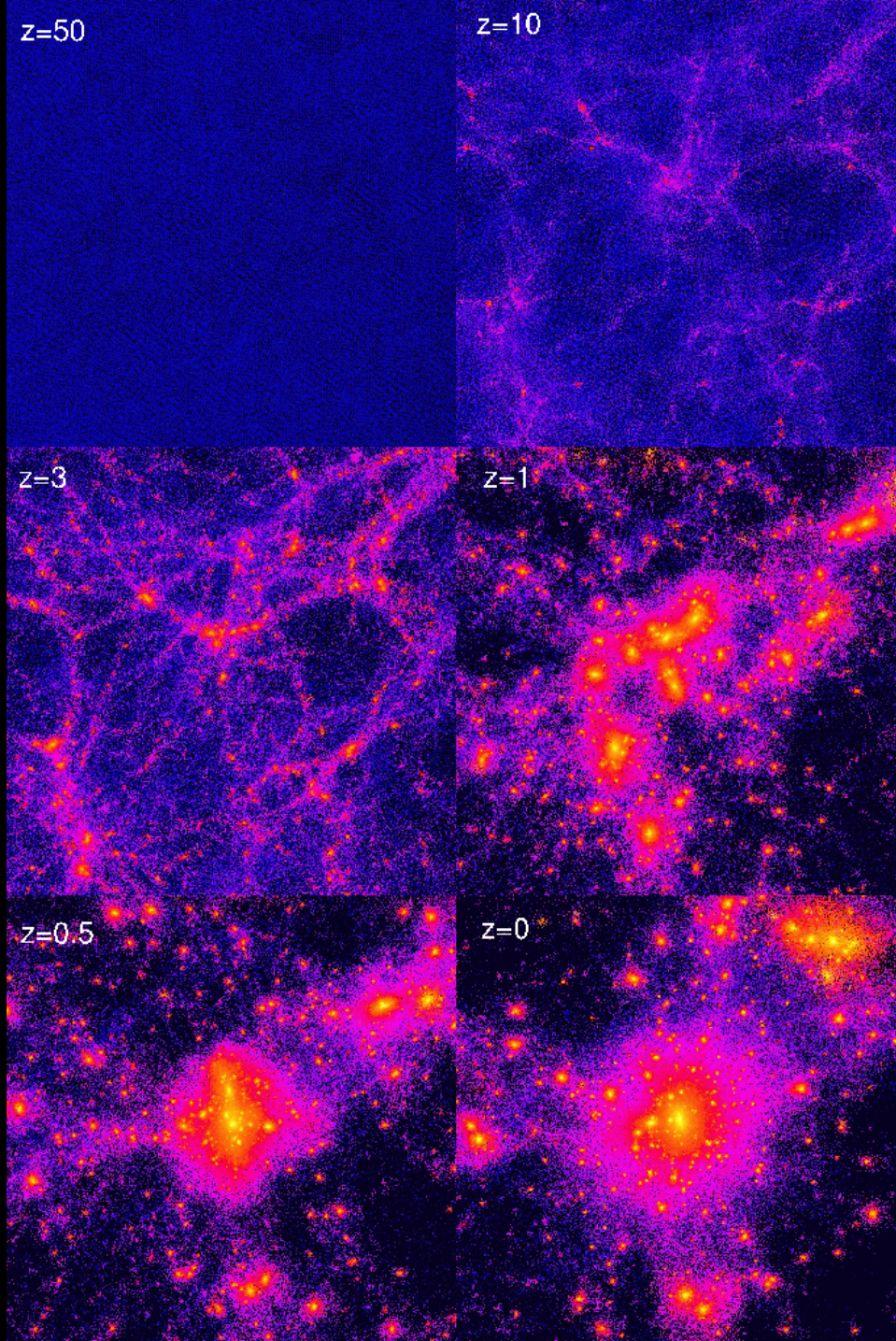
$z=10$

$z=3$

$z=1$

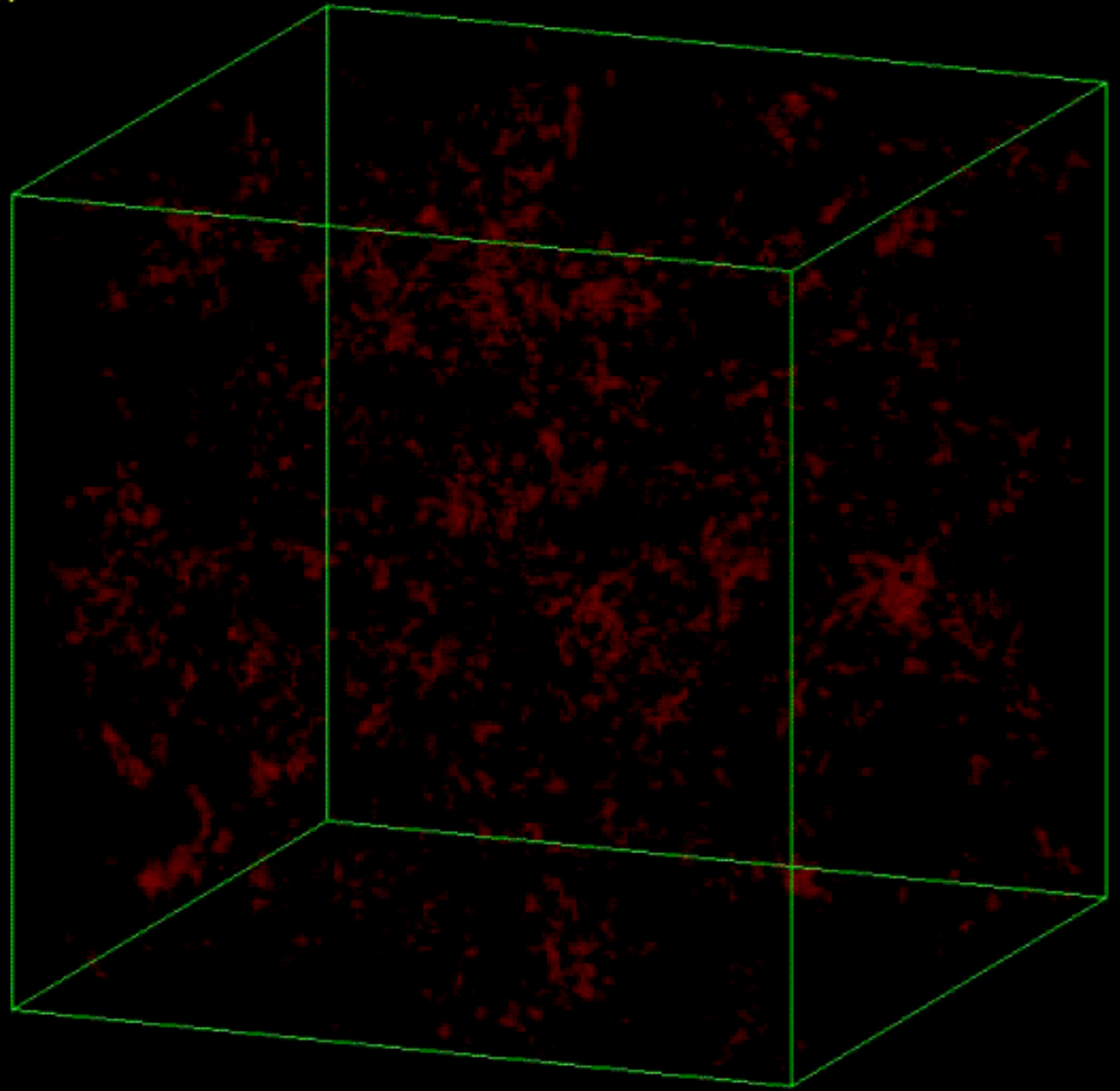
$z=0.5$

$z=0$



15.67

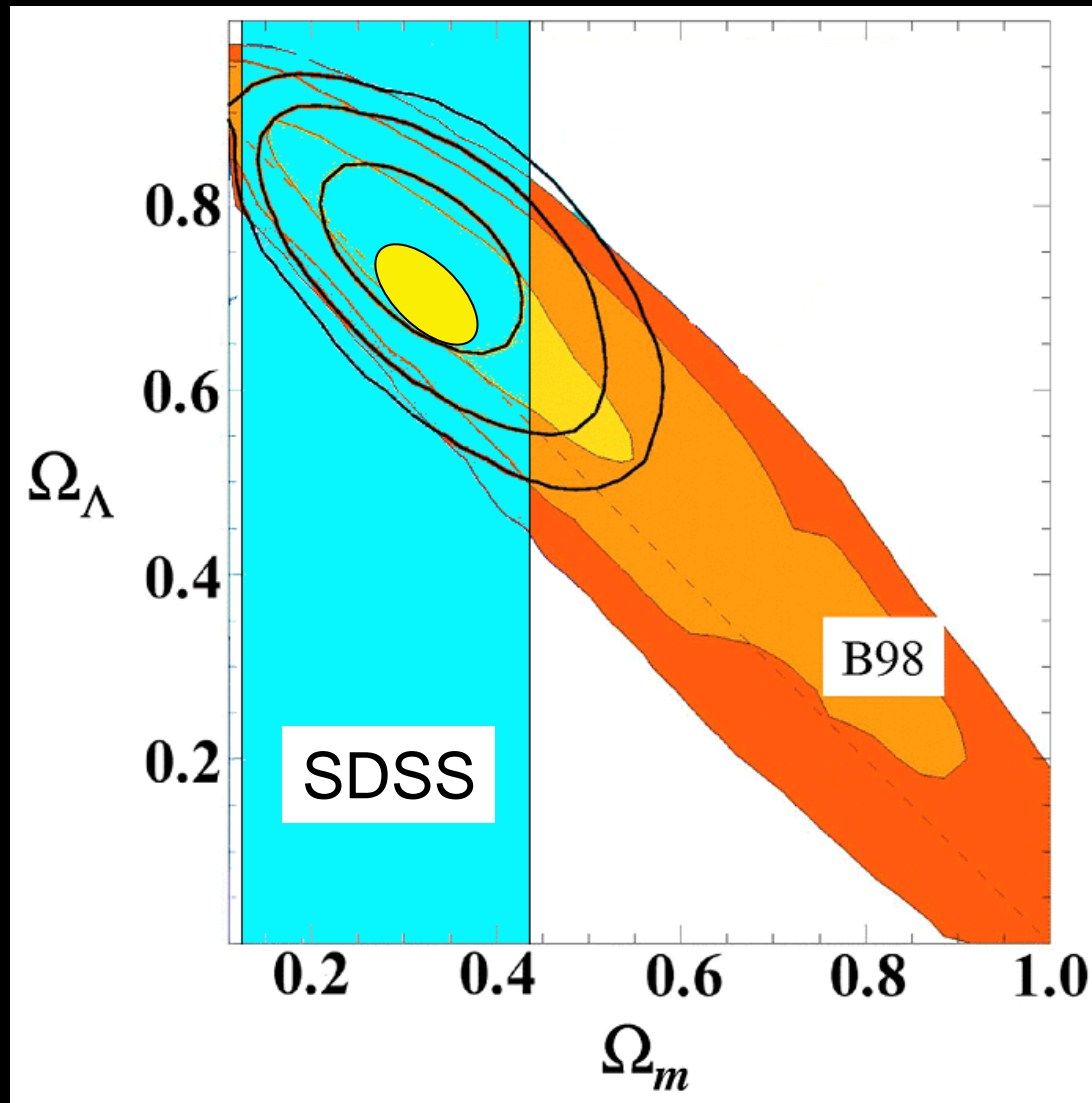
$\Lambda$ CDM MODEL  
(100 mio. lysår)<sup>3</sup>



STATE OF THE ART 2006: [MILLENIUUM SIMULATION](#) (MPA, MÜNCHEN)

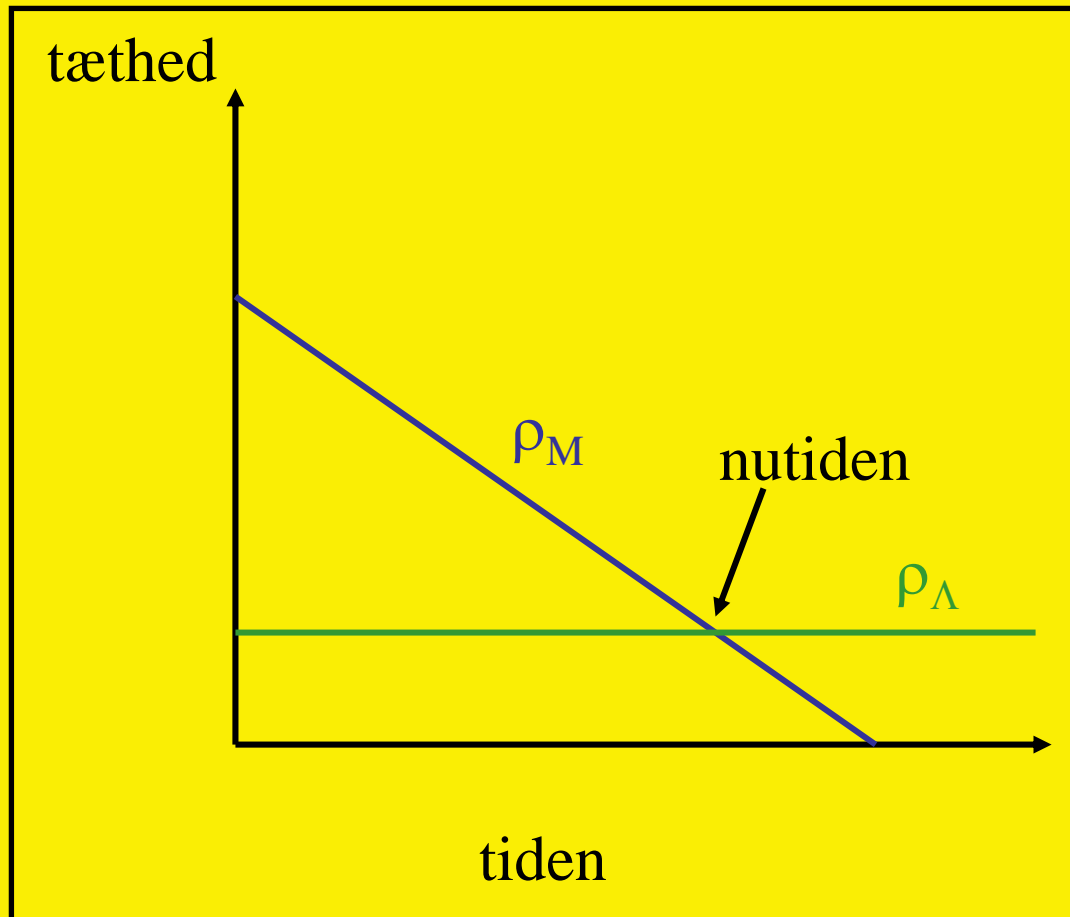
SIMULERING MED 10 MIA. PARTIKLER, VOLUMEN PÅ STØRRELSE MED  
DET SYNLIGE UNIVERS (50 MIA LYSÅR)<sup>3</sup>  
INDEHOLDER CA 20 MILLIONER GALAKSER

SDSS KAN MÅLE  $\Omega_m$ :  $\Omega_m = 0.27 \pm 0.08$



Både den kosmologiske konstant og mørkt stof bidrager til  $\Omega$ , og endda næsten lige meget

Dvs., at universet formentlig kommer til at udvide sig hurtigere og hurtigere i fremtiden, og at der aldrig kommer et "big crunch"



DER ER STADIG MANGE ULØSTE SPØRGSMÅL:

1) HVAD ER DET MØRKE STOF?

2) HVAD ER DEN KOSMOLOGISKE KONSTANT?

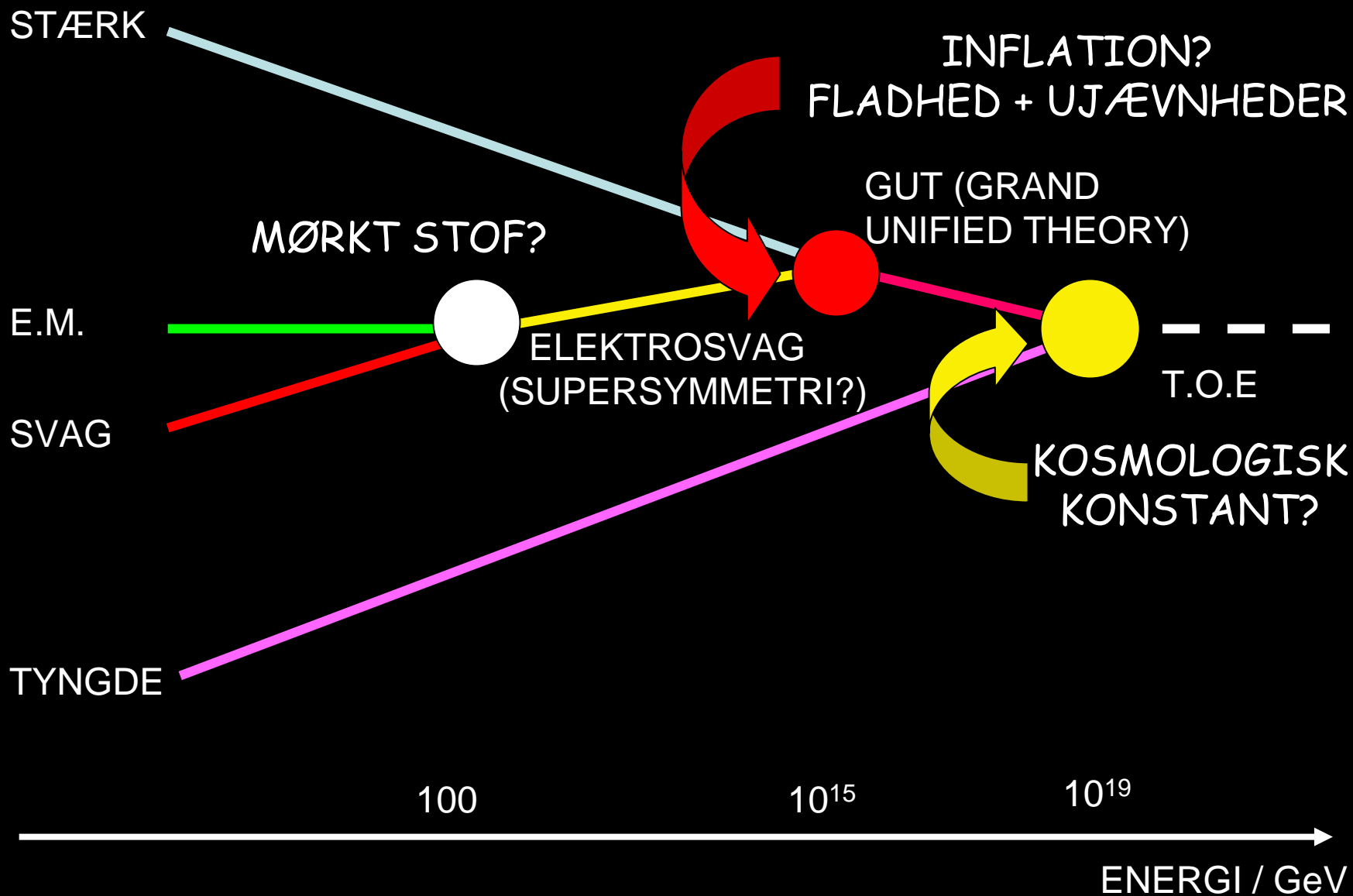
3) HVORFOR BIDRAGER DE TO TING LIGE MEGET NETOP NU? (KOINCIDENSPROBLEMET)

4) HVOR KOMMER DE FØRSTE UJÆVNHEDER FRA?

5) HVORFOR ER UNIERVETS GEOMETRI FLAD?

SVARENE SKAL FORMENTLIG FINDES I FYSIKKENS LOVE VED MEGET HØJE ENERGIER

# NATURKRÆFTERNES FORENING VED HØJ ENERGI



SLIDES KAN FINDES PÅ:

<http://www.phys.au.dk/~sth/public.htm>