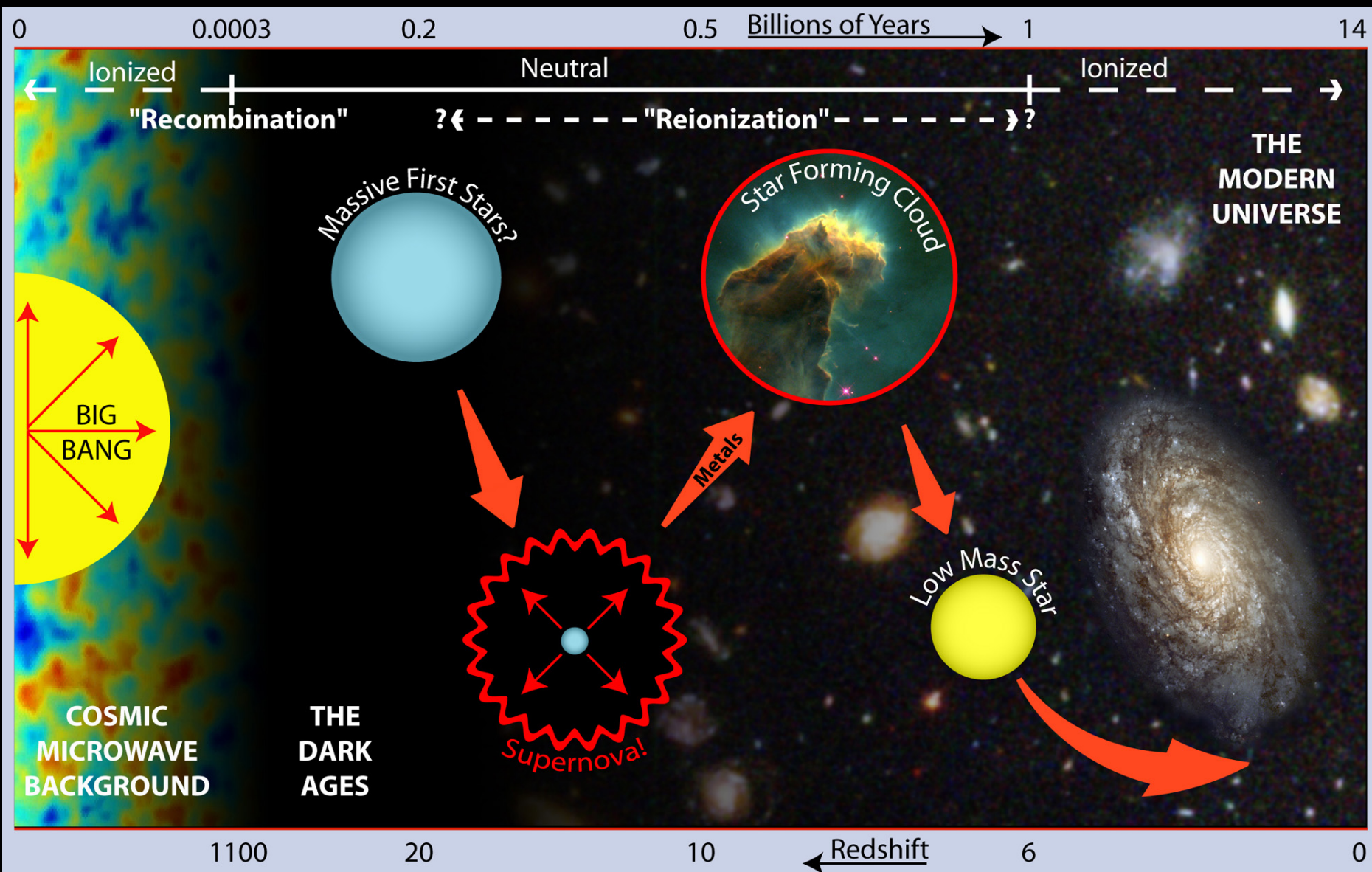
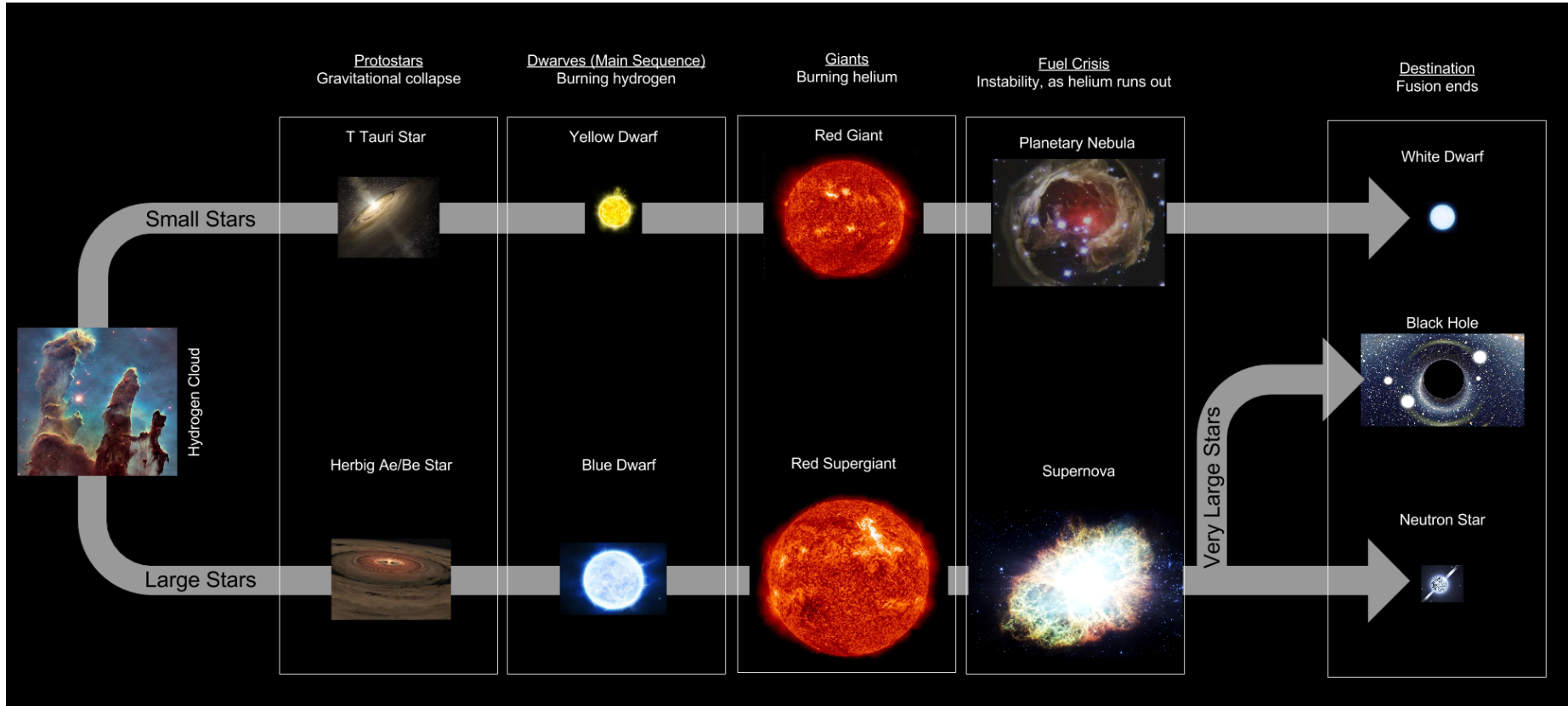


Neutronstjerner, gravitationsbølger og de tungeste grundstoffer

"Vi er stjernestøv" (dog ikke en udtømmende beskrivelse)



Stjernernes stadier



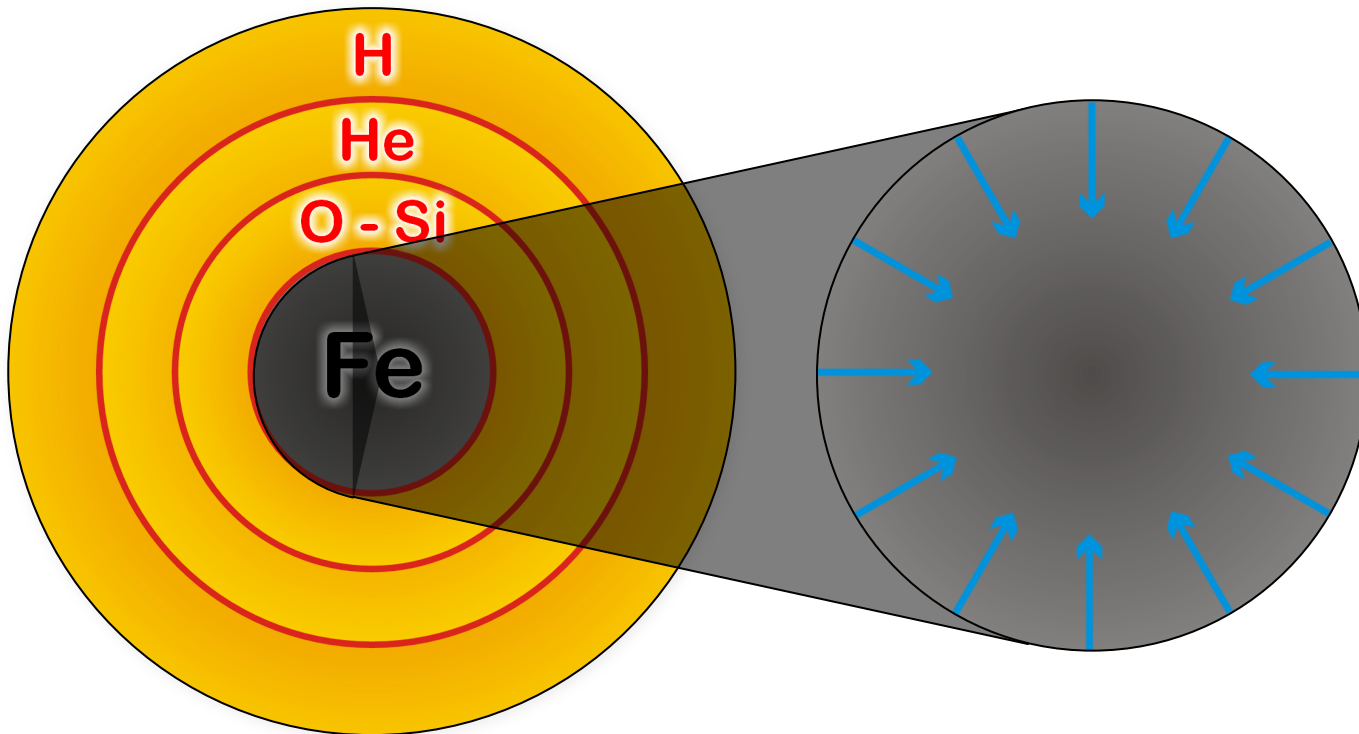
Når fusionsprocesserne starter, starter stjernens status som hovedstjerne ('Main Sequence'), som er den tilstand vi ofte tænker på stjerner i. Når hydrogen som brændstof er brugt op falder stjernen sammen under tyngdekraften og bliver varm nok til at helium forbrændingen starter, men når det er slut, forløber de sidste skridt i forbrændingen hurtigt og alt andet end stjernens kerne blæses ud i universet ved en mere eller mindre spektakulær eksplosion, (afhængig af størrelsen af stjernen), og kernen er tilbage som den 'døde' rest af stjernen (død betyder her, producerer ikke længere større mængder lys).

Stjernens livsproces afhænger af størrelsen, dvs. massen af gas i protostjernen. På de følgende slides bliver de mulige skæbner præsenteres.

En tung stjernes kollaps

Løgstruktur

Kollaps (implosion)



Stjerner tungere end 10 solmasser kan fortsætte forbrænding af tungere grundstoffer, og ender generelt med at blive endnu større i deres kæmpefase og betegnes 'superkæmper'.

Men til sidst er der ikke mere tilbage at forbrænde og kernen af jern falder sammen uden mulighed for at starte en ny fusionsproces. Dette resulterer i et voldsomt kollaps af jernkernen.

En tung stjernes eksplosion

- Efter stjernens pludselige kollaps, bliver trykket i stjernens indre så stort (og varmt), at stjernen eksplodere i den mest voldsomme begivenhed i rummet: en 'supernova'
- Vi har endnu ikke en optagelse fra rummet om hvordan det ser ud idet, en stjerne eksplodere, men der findes mange illustrationer af hvordan der kunne se ud før og efter (eksempel til højre).

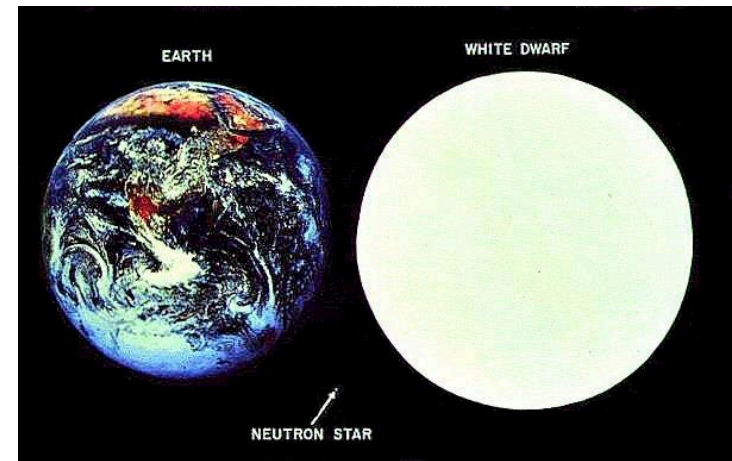
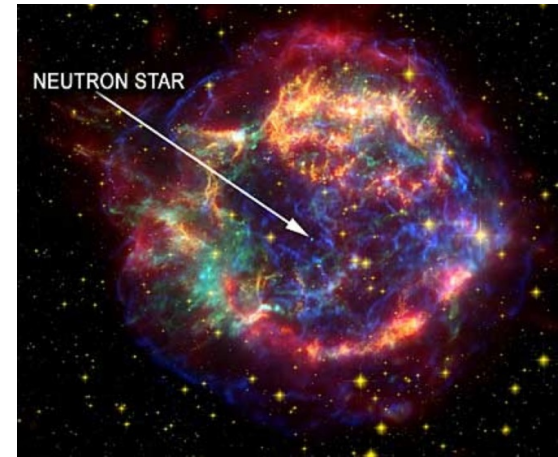


Det der bliver tilovers er en enorm gassky omkring den tilbageblevne neutronstjerne eller sorte hul (se næste slides)

En supernova er visuelt en kraftigere udgave af en 'nova' (fra 'ny'), som også er et skarpt lysglimt som opstår når en hvid dværg i et binært stjernepar, opsluger eks. hydrogen fra sin partner, som starter fusion, og kort derefter kastes ud i rummet på grund af varmen fra det indre af den hvide dværg.

Resterne efter en supernova

- Kernen som bliver tilbage efter en supernova falder yderligere sammen og bliver til en af to fascinerende objekter på himlen (afhængig af stjernen oprindelige masse:
 - 10-30 solmasser: Neutronstjerne
 - >30 solmasser: Sort hul
- Neutronstjerne består næsten udelukkende af neutroner (deraf navnet)
- Da neutroner ikke har nogen elektrisk ladning, kan de pakkes enormt tæt, hvilket giver neutronstjerner en enorm densitet (omkring 10^{14} kg/L)
- Neutronstjerner har typisk en radius på 10 km og masse mellem 1,4-2,16 solmasser (resten af den oprindelige stjerne er blæst væk i supernovaen)

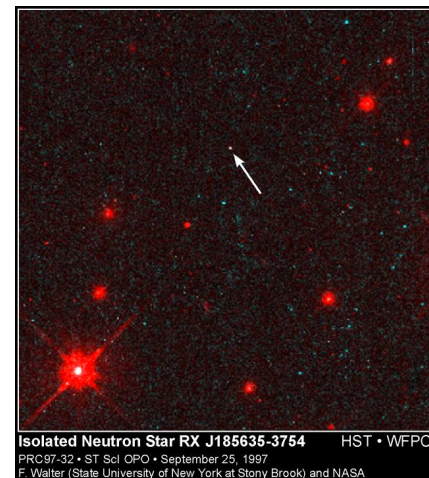
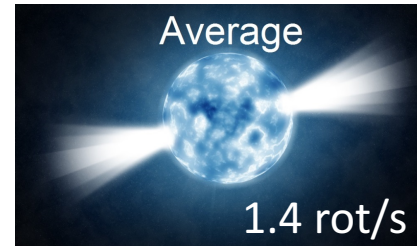


Neutronstjerner er navngivet efter den tilstand som al materialet har i denne stjerne-rest. Stoffet i neutronstjerner kan ikke længere kaldes atomer, da tyngdekraften er så stærk at elektronerne er trukket ind i atomkernerne. Neutronstjerner kan simpelthen ses som en samling af neutroner holdt sammen af et enormt træk fra tyngdekraften.

Neutronernes enorme densitet svarer til at en teske neutronstjerne på Jorden ville veje det samme som 100 Giza-pyramider eller 5000 hangarskibe (Nimitz-klassen).

Neutronstjerner kan sjældent ses, men høres som pulsarer

- Neutronstjerner starter med en overfladetemperatur på 600.000 K og udsender dermed lys som kan observeres (fx billedet nederst til venstre)
- Neutronstjernerens magnetfelt er mere end 100 millioner gange stærkere end jordens, hvilket producerer stærke røntgenstråler og radiobølger
- Røntgenstrålerne afslører neutronstjernen der er blev tilovers efter supernovaen, der har skabt krabbetågen (nederst til højre)
- Neutronstjerner roterer op til flere hundrede gange i sekundet, og hvis et af dets magnetiske poler peger imod jorden, kan vi observere/høre pulser af radiobølgerne for hver rotation (fx klip øverst)

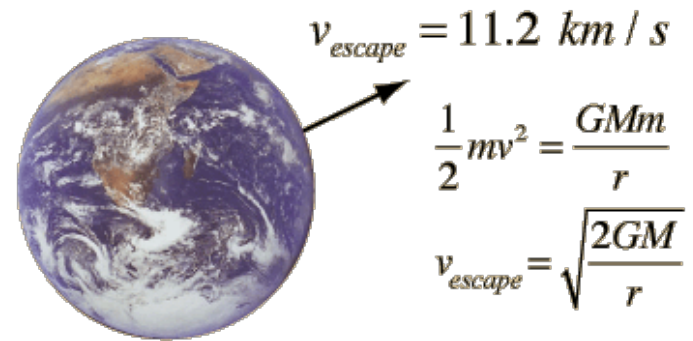
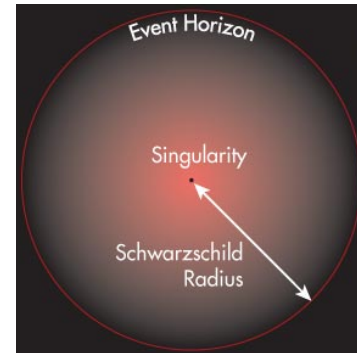


Neutronstjerne roterer enormt hurtigt, fordi de har ændret størrelse så radikalt. Fordi den angulære bevægelsesmængde altid er bevaret, må stjernens rotationshastigheden forøges når radius af stjernen formindskes. (Det samme udnytter skøjtedansere der trækker armene ind. Prøv det selv ved at dreje rundt på en kontorstol).

Det er neutronstjernernes puls der har givet dem tilnavnet 'pulsar' (fra "Pulsating Star"). Flere eksempler og lydclip kan findes på [The Sounds of Pulsars](#) (engelsk).

Sorte huller

- Hvis den tiloversblevne masse efter supernovaen er tungere en 3 solmasser, falder kernen sammen til et sort hul
- Et sort hul er et objekt med så høj densitet at intet kan undslippe dets tyngdekraft
- Vi kan udregne jordens undvigelseshastighed, dvs. den hastighed der er behov for, for at slippe fri fra jordens tyngdekraft
- Hvis jorden blev presset sammen så den var på størrelse med en bordtennisbold, så ville undvigelseshastigheden ved overfladen være større end lysets hastighed
- Dermed ville lys ikke kunne slippe væk, og jorden ville være blevet omdannet til et sort hul



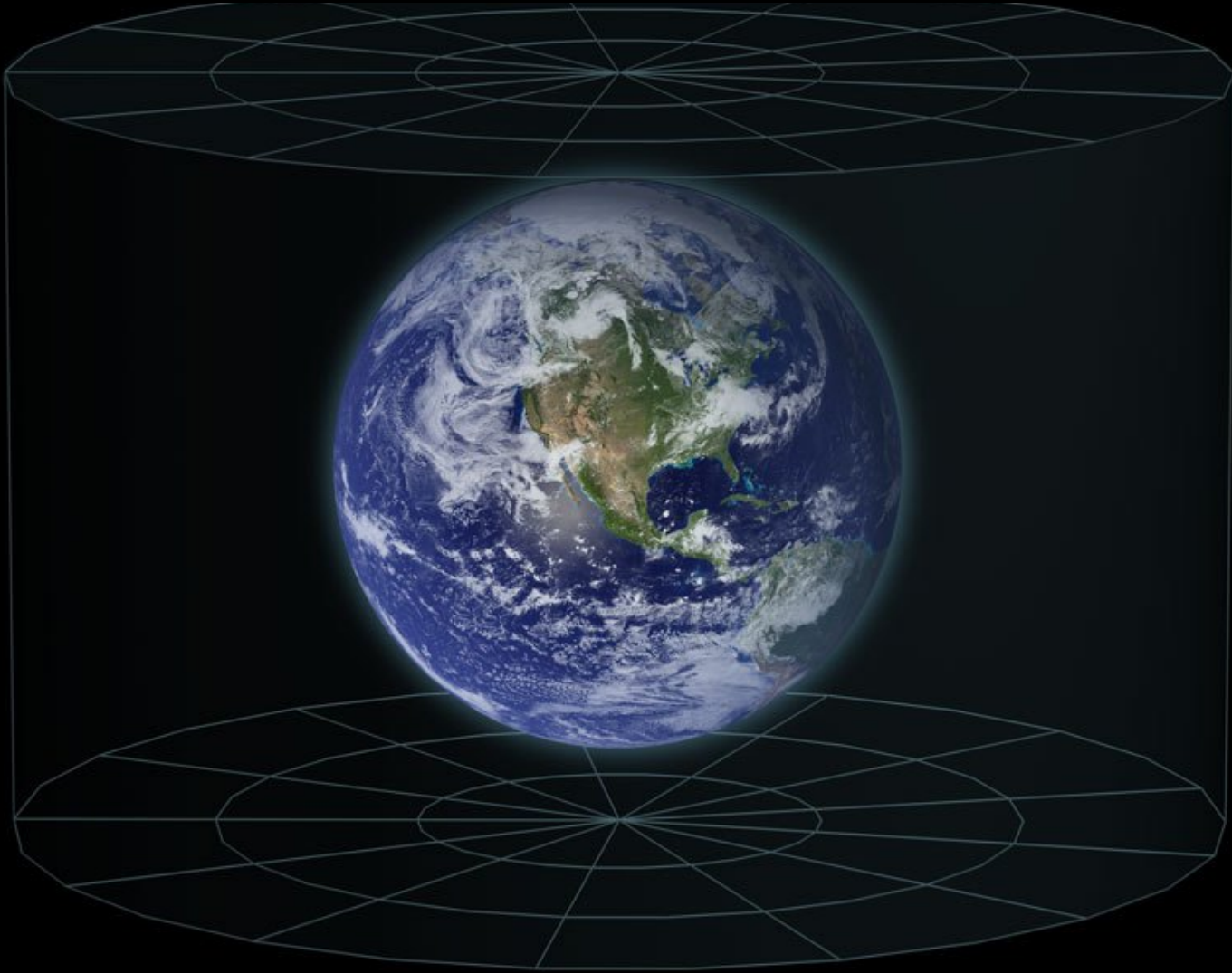
Med Jordens masse presset sammen i en bordtennisbold:

$$v_{\text{escape}} > c$$

Mere er der egentlig ikke at sige om sorte huller. Hvis man vil arbejde videre med beskrivelsen skal man introducere både kvantemekanik og general relativitetsteori. Det ændrer dog ikke særlig meget på observationen af at sorte huller er uendeligt små, og alt inden for deres begivenhedshorisont ("Event Horizon"), vil blive indfanget.

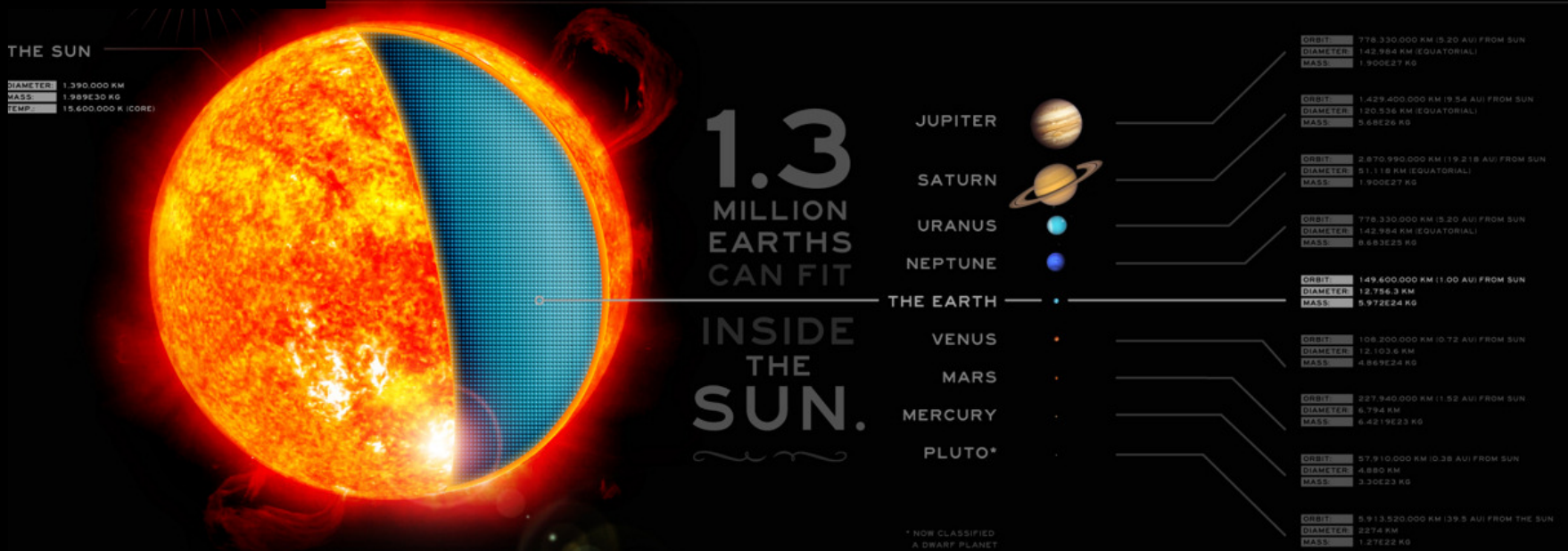
Det kan dog nævnes at den typiske beskrivelse af et sort hul er et såkaldt 'Schwarzschild' sort hul, hvor man ser bort fra eventuel rotation og elektrisk ladning.

Jorden (6700 km)

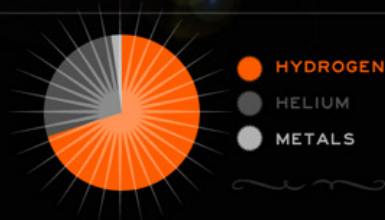


Solensystemet (150 millioner km)

HOW BIG? HOW POWERFUL?



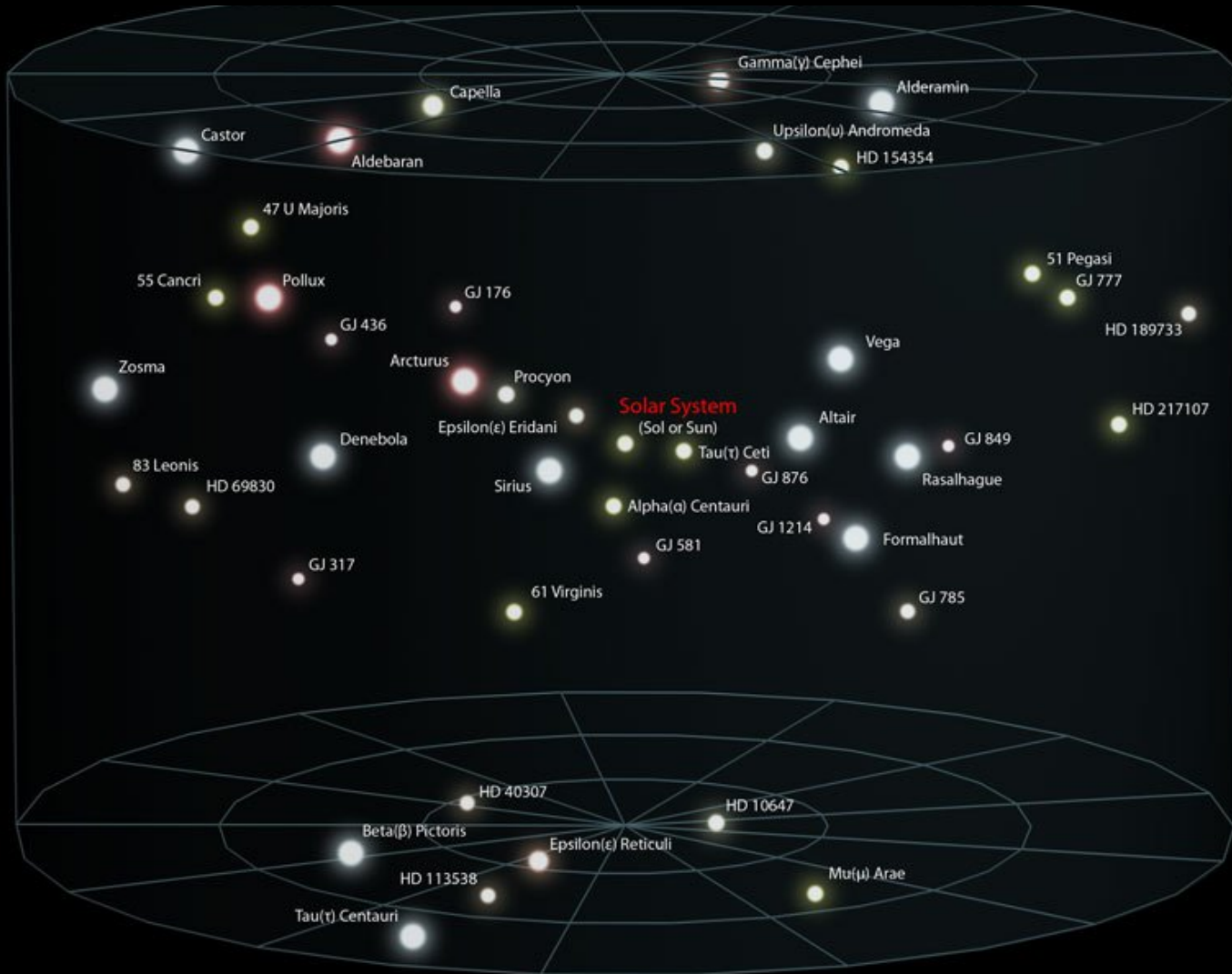
THE SUN CONTAINS MORE THAN **99.8%** OF THE TOTAL MASS OF THE SOLAR SYSTEM.



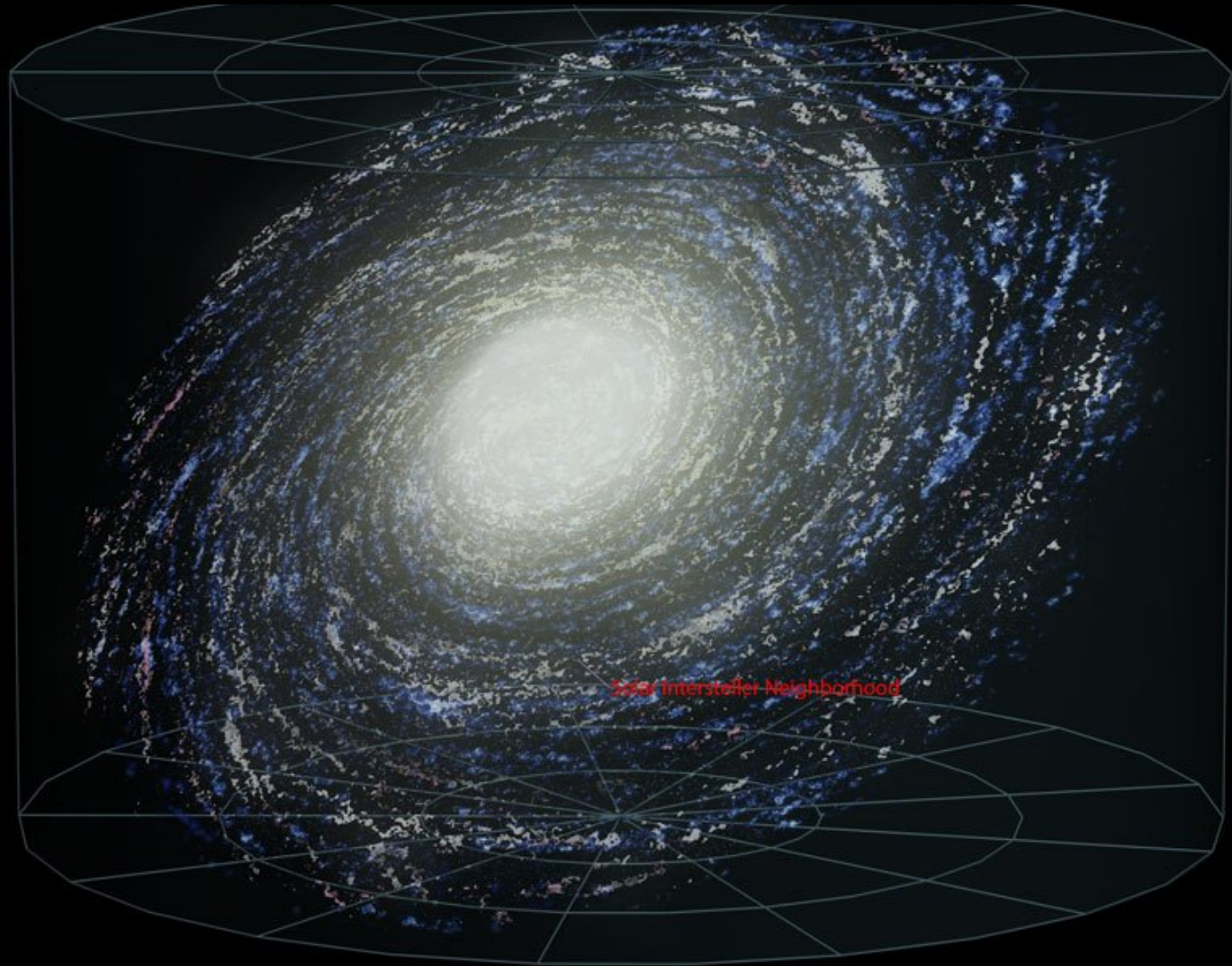
386 BILLION BILLION MEGAWATTS OF POWER

AT THE CENTRE OF THE CORE THE SUN'S DENSITY IS MORE THAN **150** TIMES THAT OF WATER

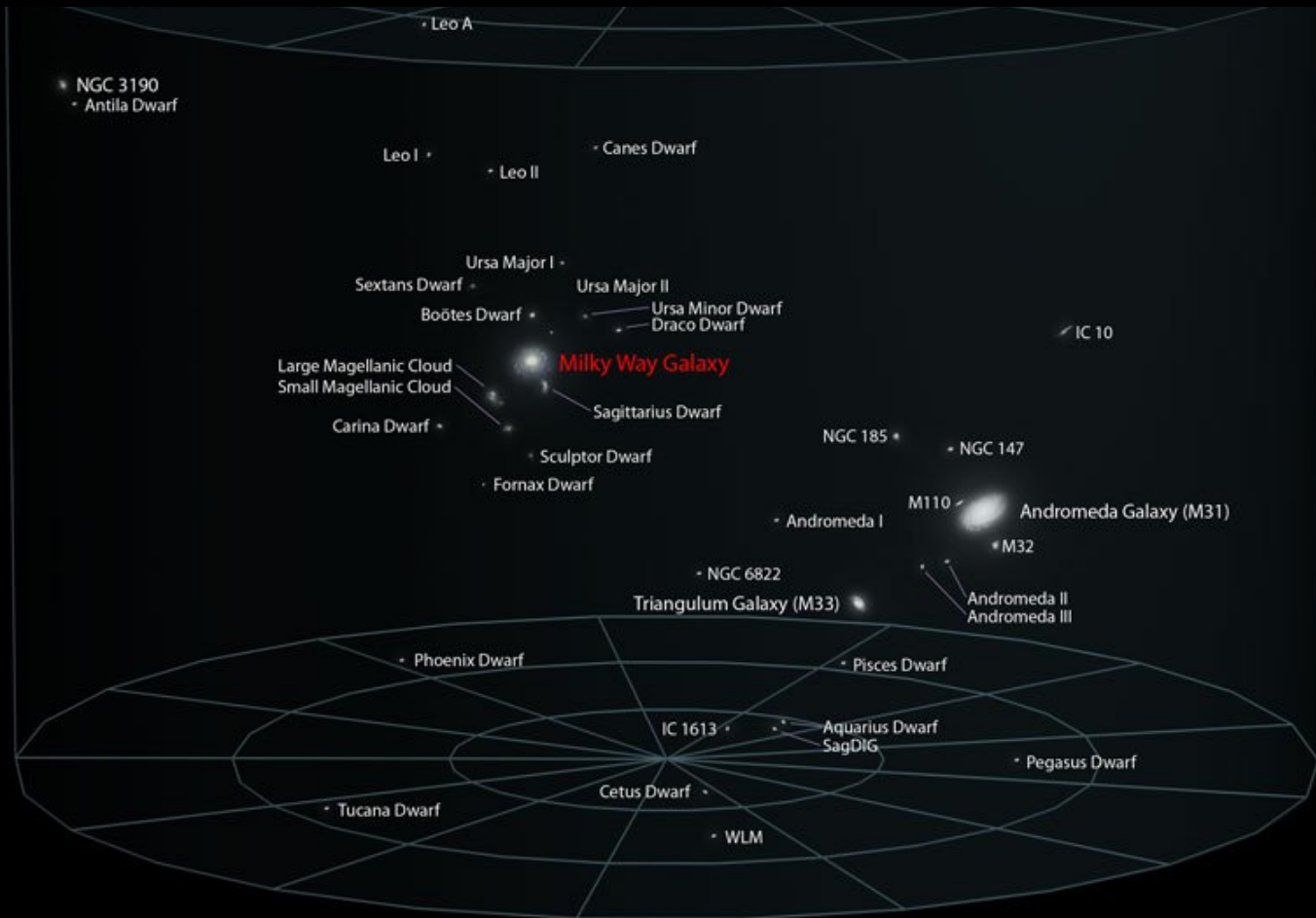
Solens omegn (mange lysår)



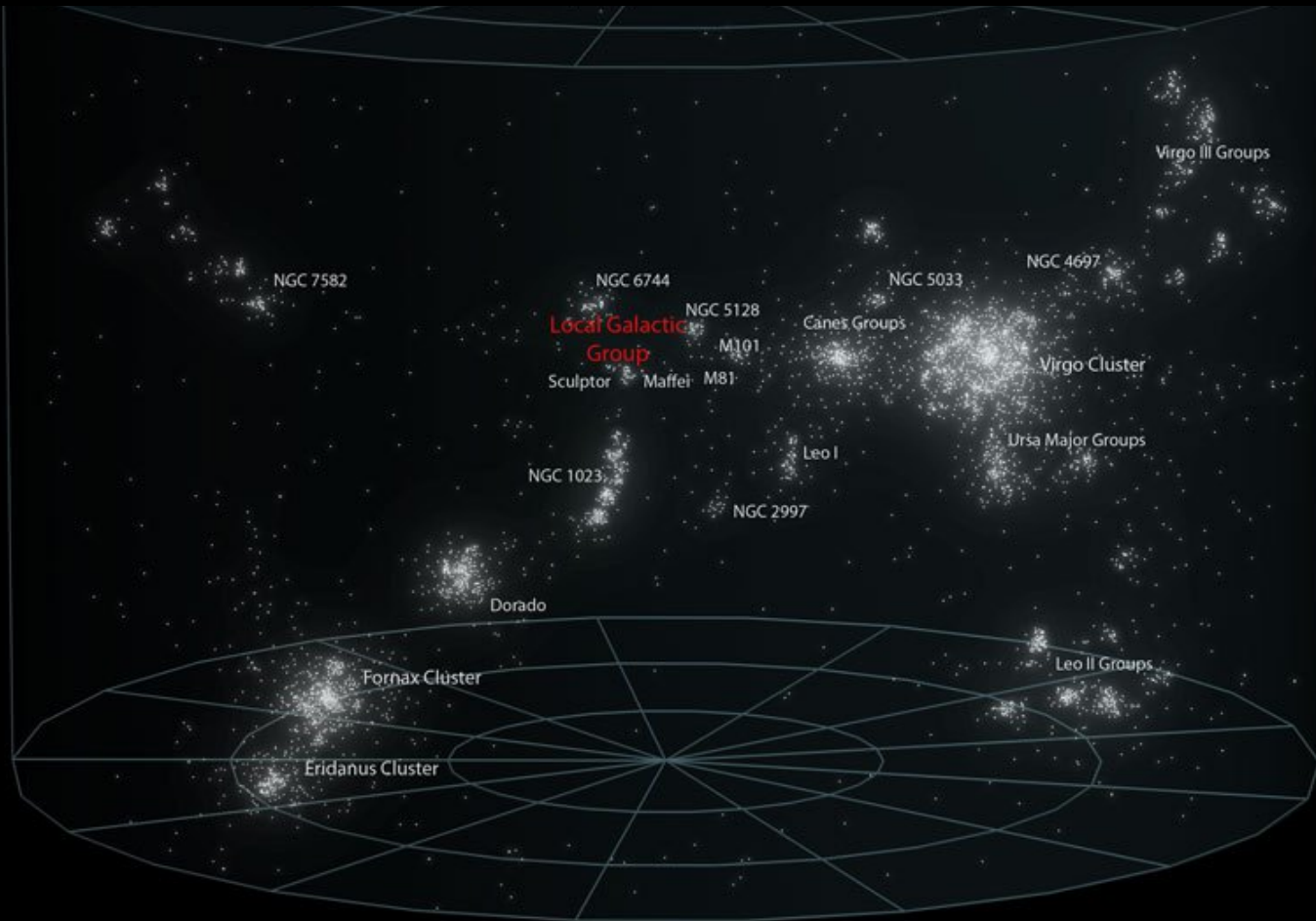
Mælkevejen (100.000 lysår)



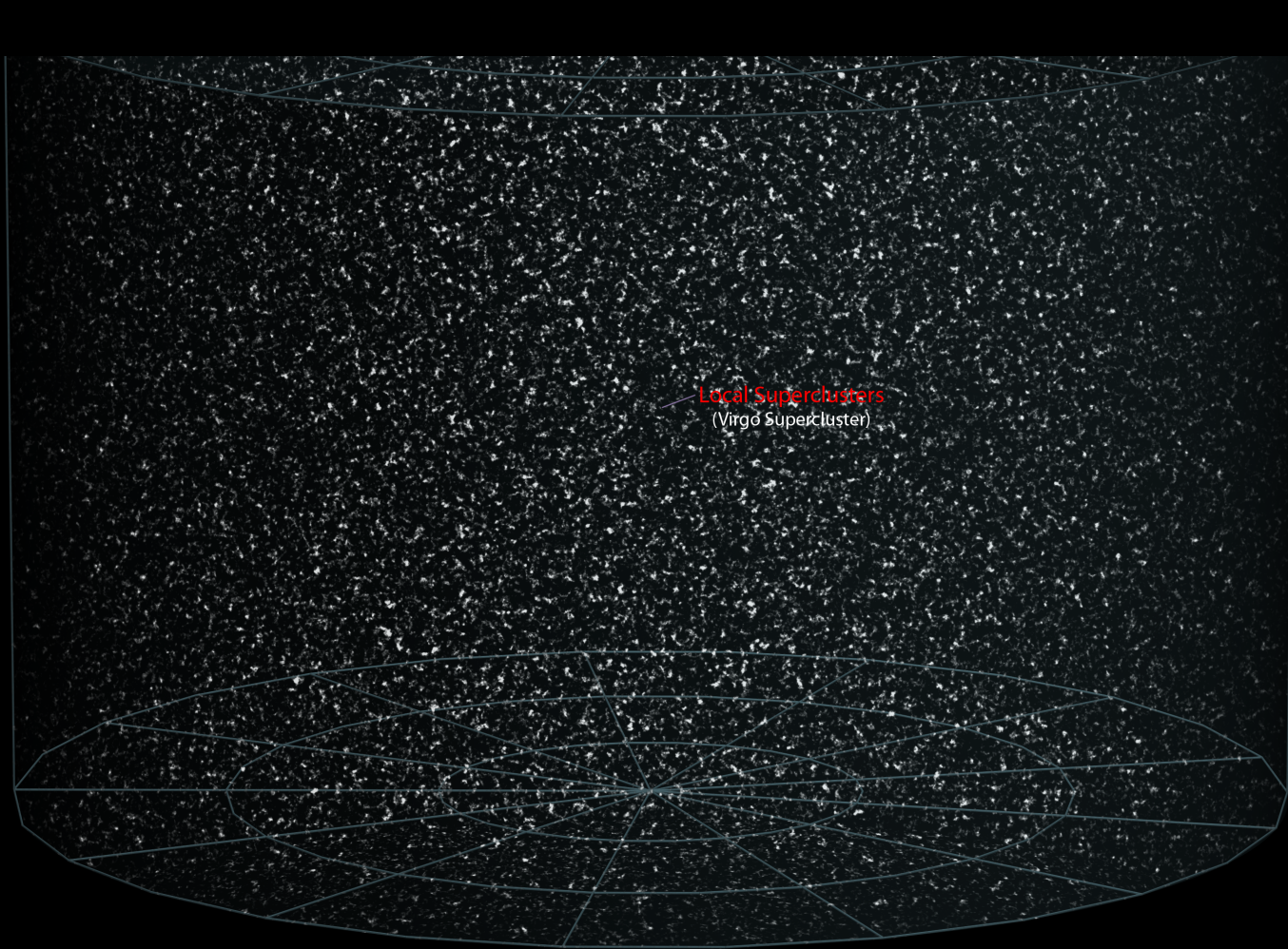
Den lokale Gruppe (5 millioner lysår)



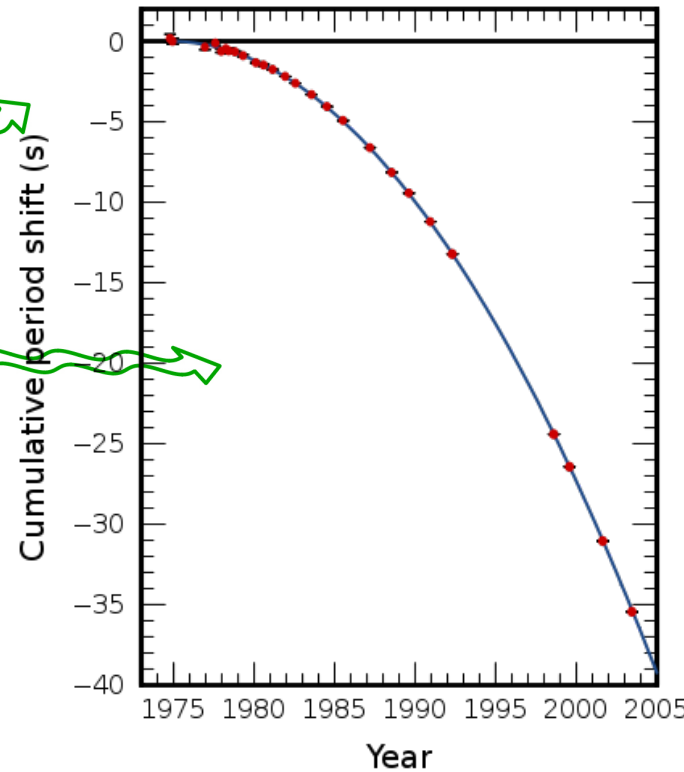
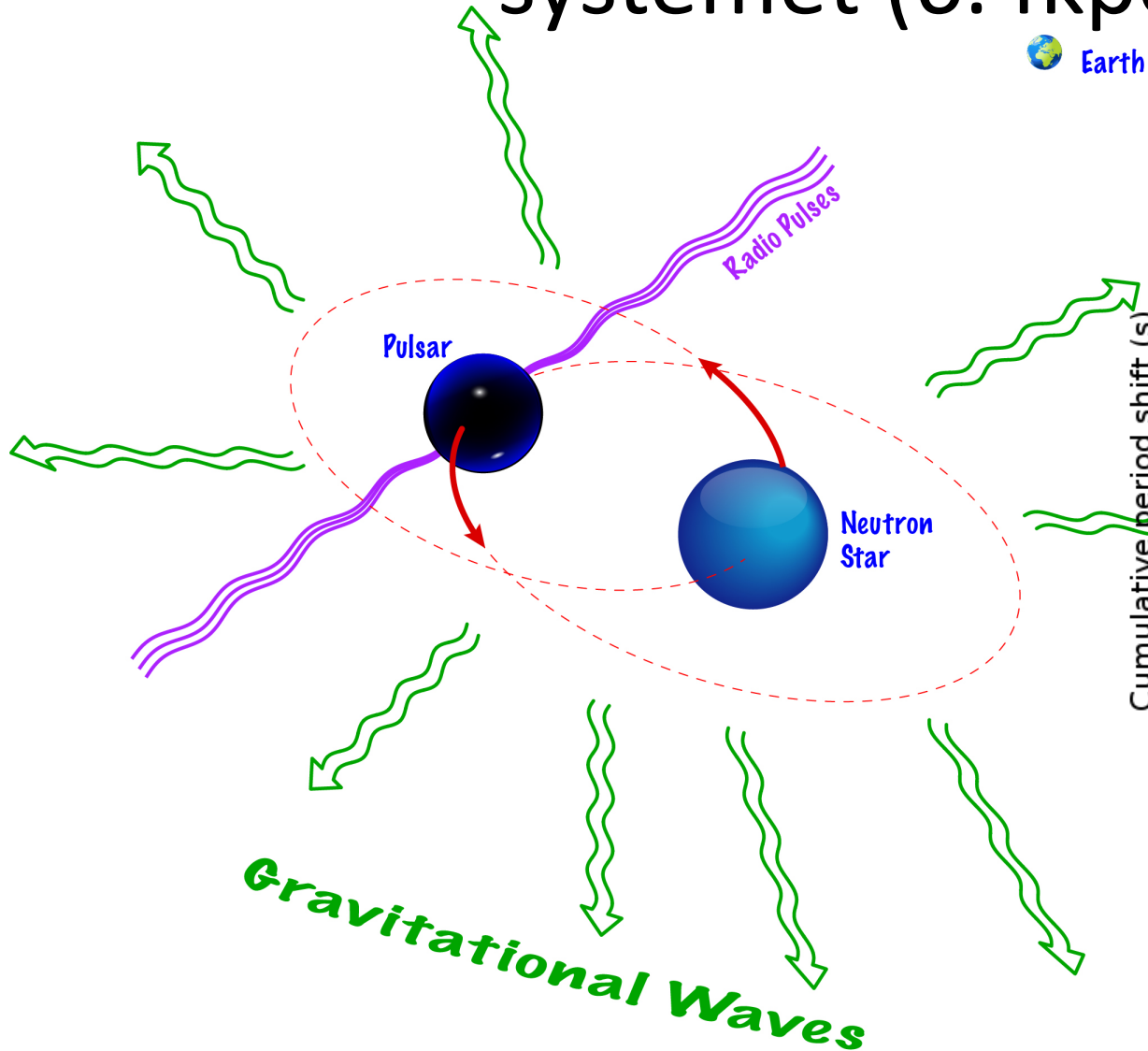
Virgo Superhoben (100 millioner lysår)



Det Observerbare Univers (100 milliarder lysår)



Gravitationsbølger: Hulse-Taylor systemet (6.4kpc)





Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

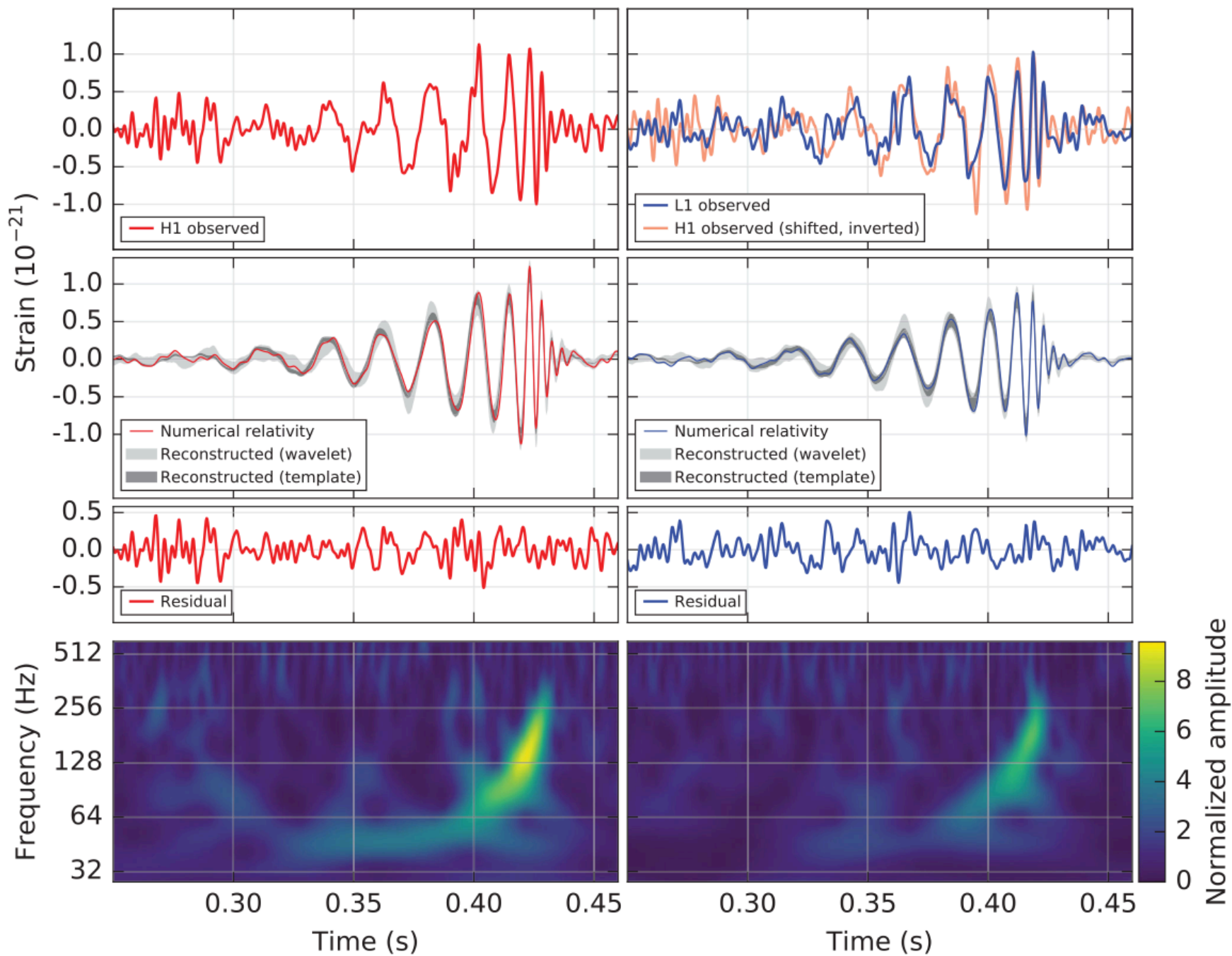
(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

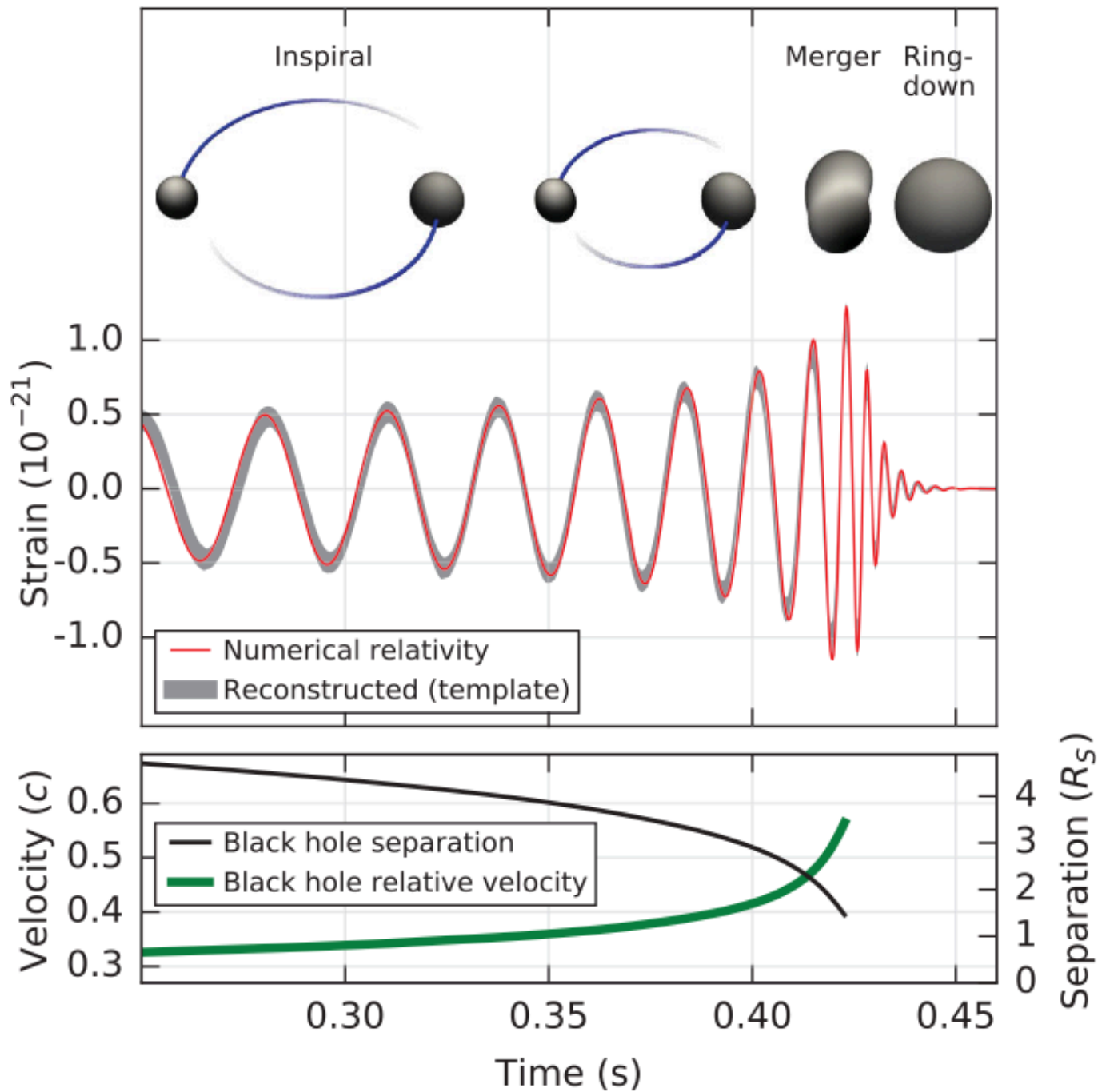
On September 14, 2015 at 09:50:45 UTC the two detectors of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory simultaneously observed a transient gravitational-wave signal. The signal sweeps upwards in frequency from 35 to 250 Hz with a peak gravitational-wave strain of 1.0×10^{-21} . It matches the waveform predicted by general relativity for the inspiral and merger of a pair of black holes and the ringdown of the resulting single black hole. The signal was observed with a matched-filter signal-to-noise ratio of 24 and a false alarm rate estimated to be less than 1 event per 203 000 years, equivalent to a significance greater than 5.1σ . The source lies at a luminosity distance of 410_{-180}^{+160} Mpc corresponding to a redshift $z = 0.09_{-0.04}^{+0.03}$. In the source frame, the initial black hole masses are $36_{-4}^{+5}M_{\odot}$ and $29_{-4}^{+4}M_{\odot}$, and the final black hole mass is $62_{-4}^{+4}M_{\odot}$, with $3.0_{-0.5}^{+0.5}M_{\odot}c^2$ radiated in gravitational waves. All uncertainties define 90% credible intervals. These observations demonstrate the existence of binary stellar-mass black hole systems. This is the first direct detection of gravitational waves and the first observation of a binary black hole merger.

DOI: [10.1103/PhysRevLett.116.061102](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102)

Hanford, Washington (H1)

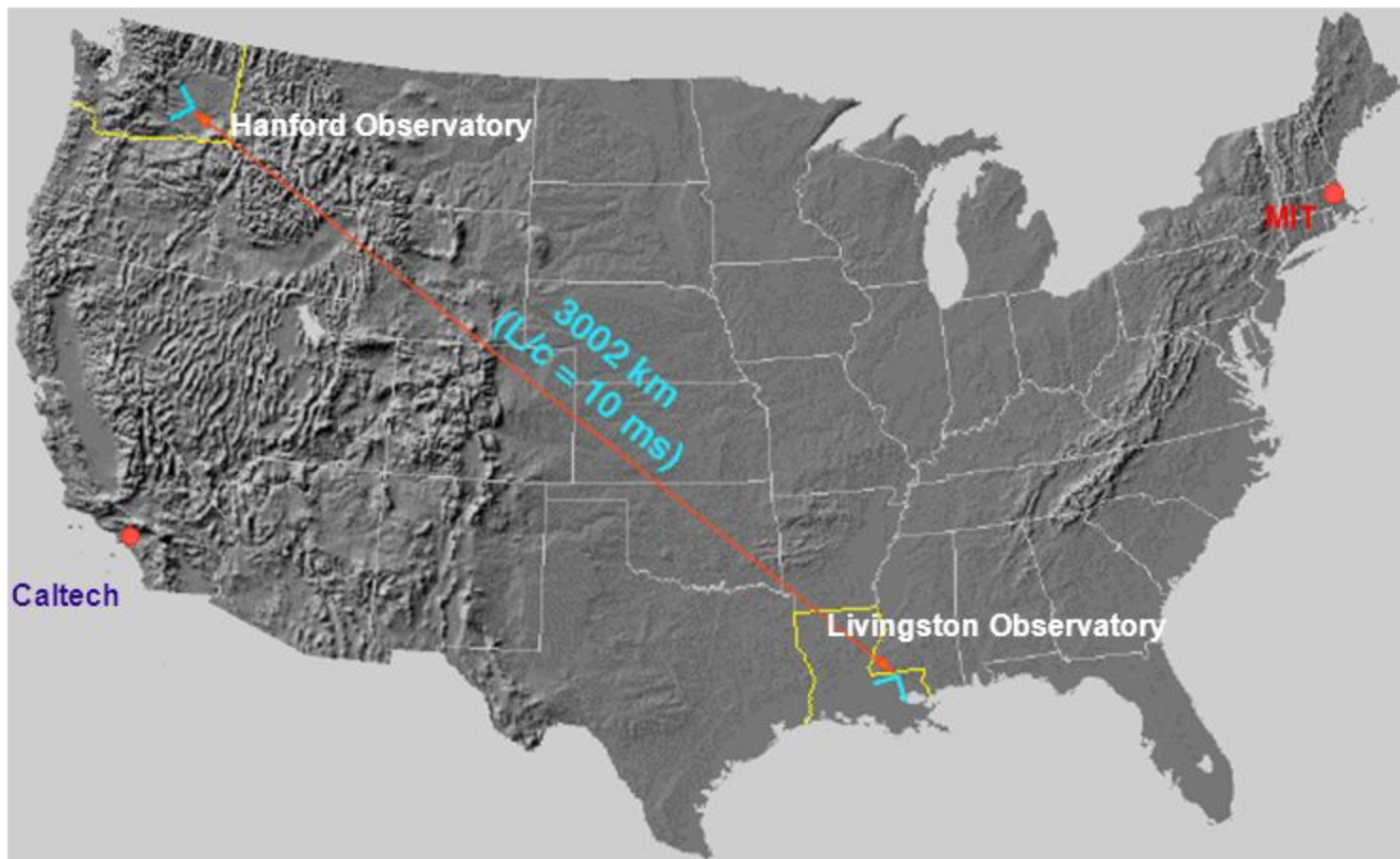
Livingston, Louisiana (L1)

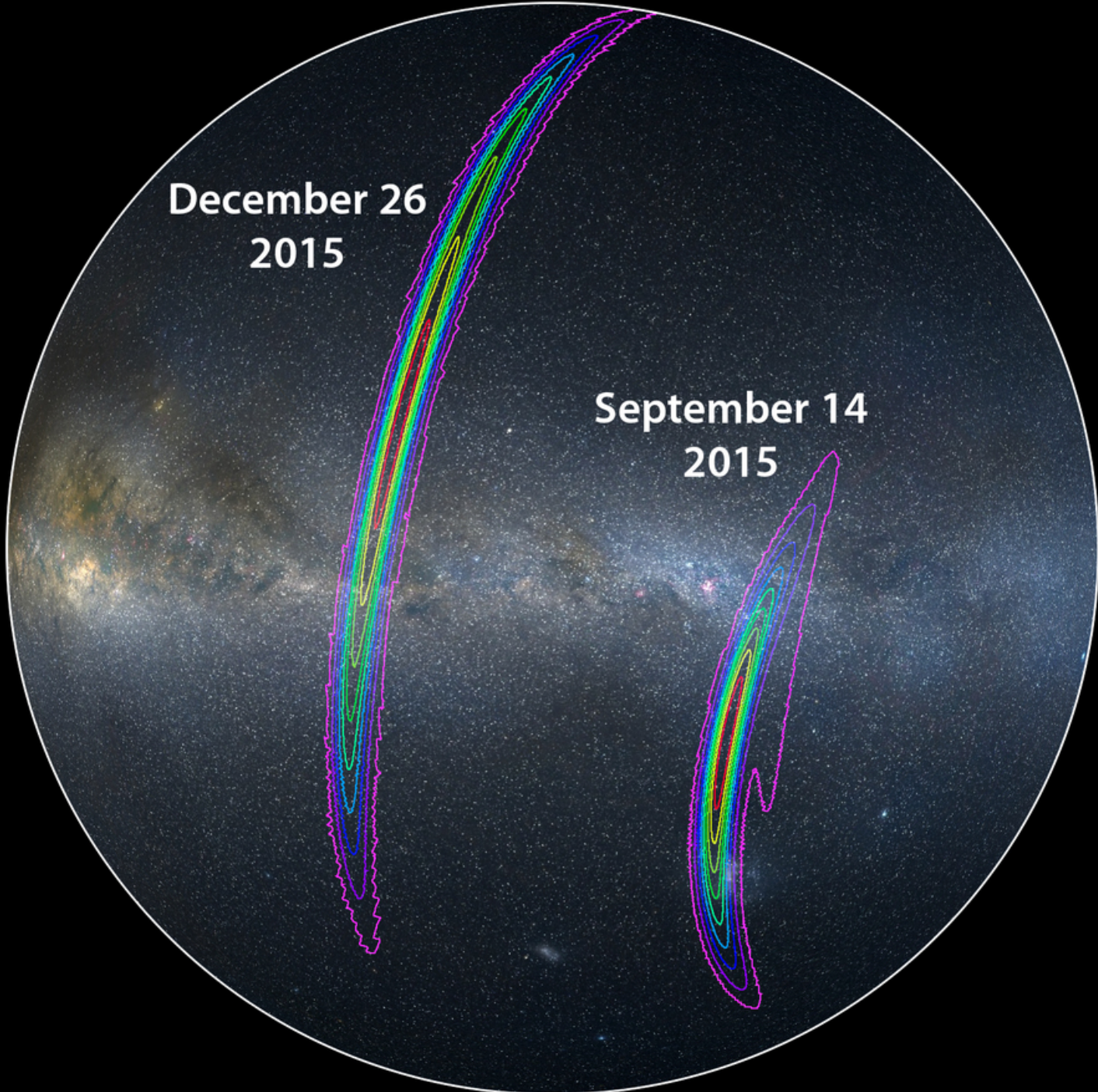






LIGO The LIGO Laboratory Sites

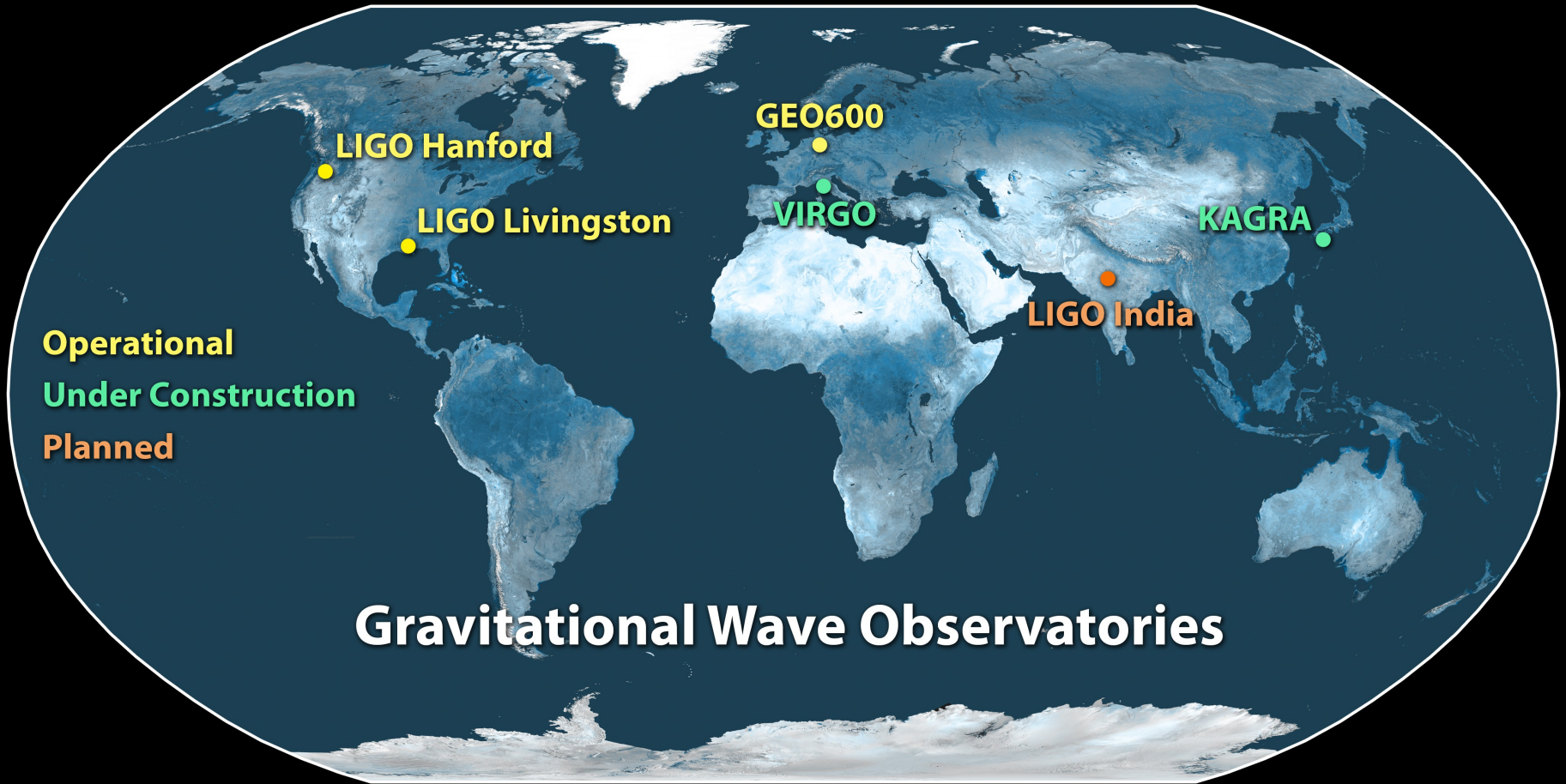




**December 26
2015**

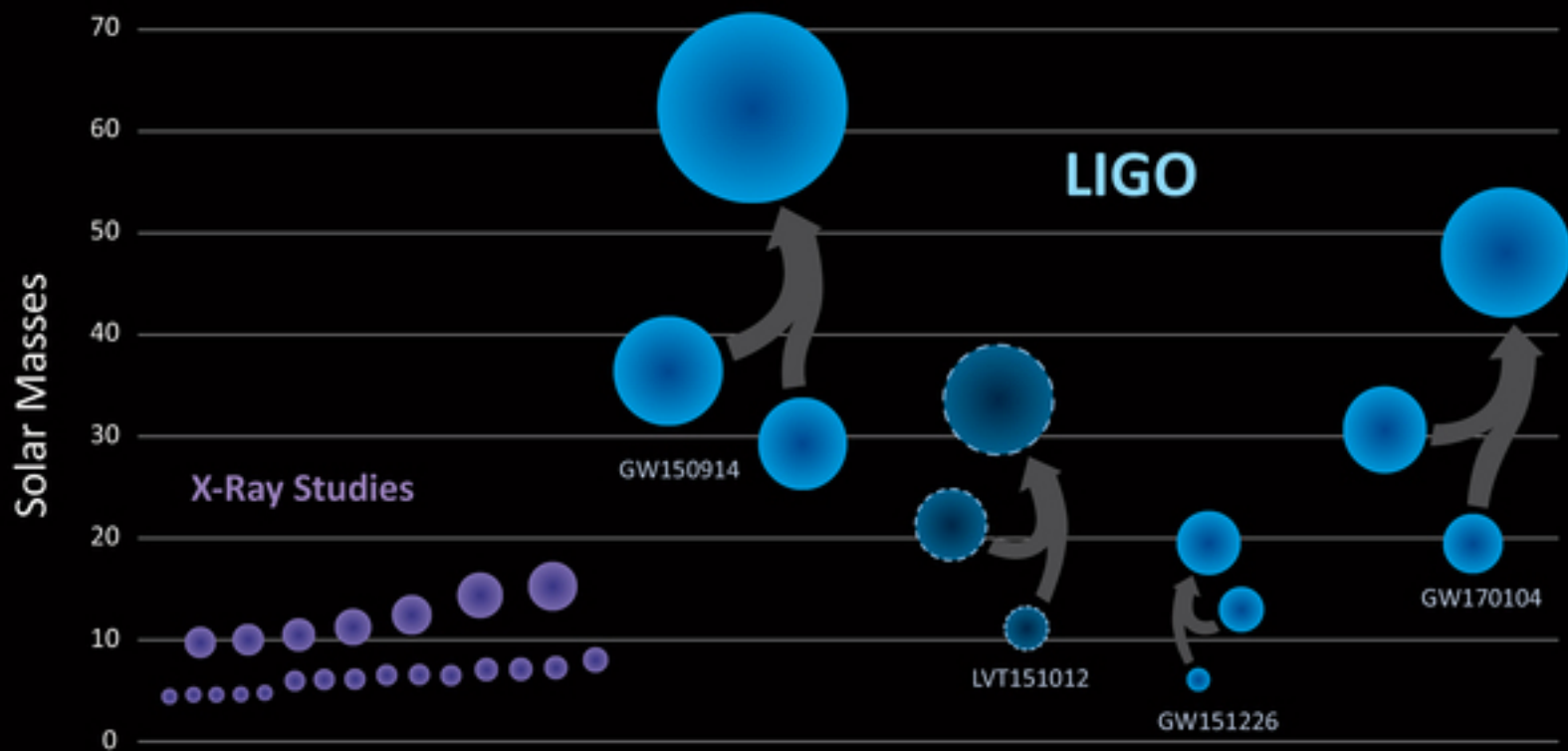
**September 14
2015**

Når der kun er to detektorer er det meget svært at regne ud, hvor bølgerne kom fra og dermed finde ud af, hvad der præcis skete ☹️



Gravitational Wave Observatories

Black Holes of Known Mass

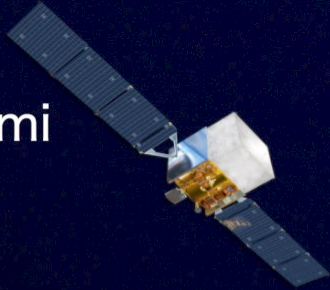


GW170817

- NS-NS merger i NGC4993 17. august 2017
- <https://telescoper.wordpress.com/2017/08/23/ligo-leaks-and-ngc-4993/>
- 40 Mpc

GW170817

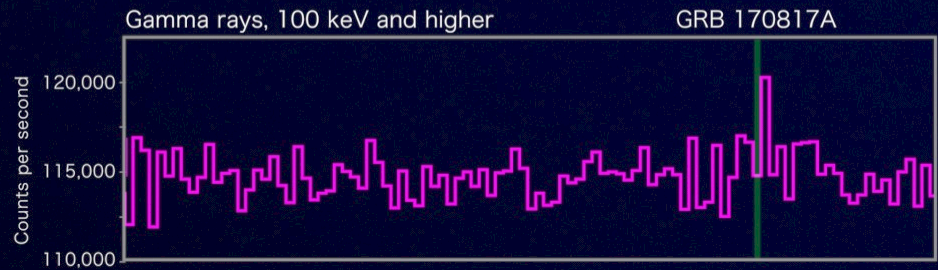
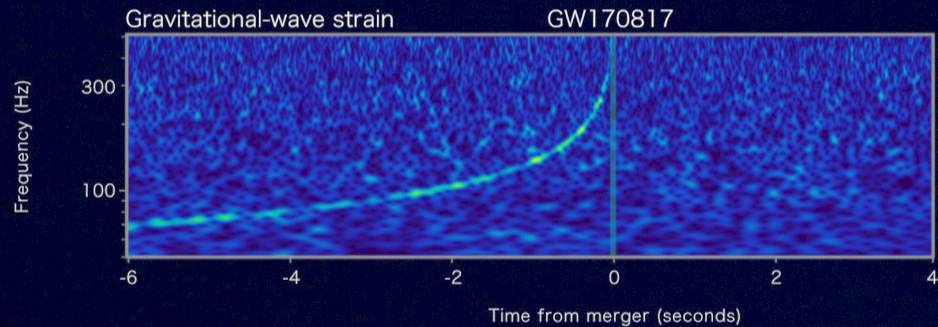
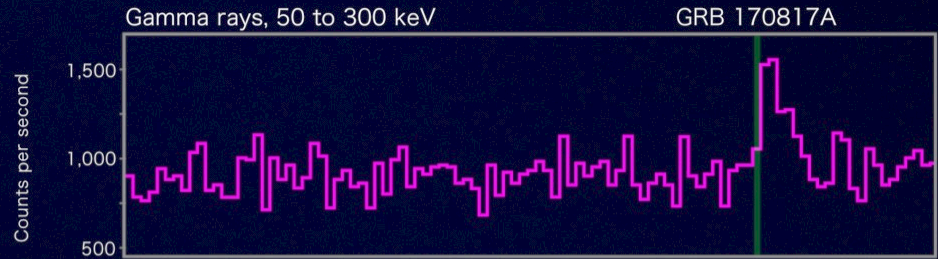
Fermi



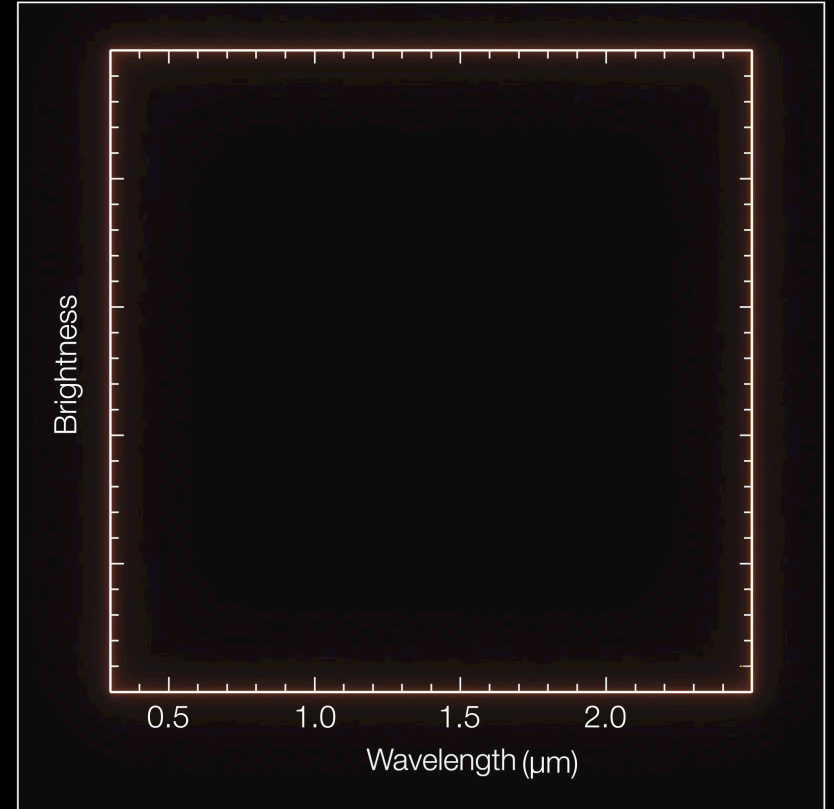
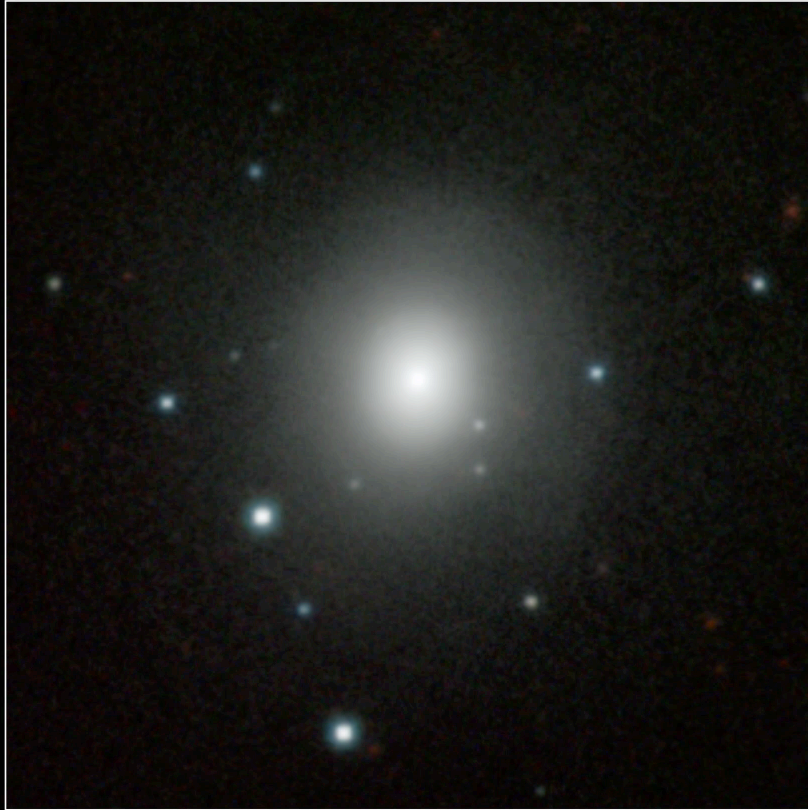
LIGO-Virgo



INTEGRAL



GW170817



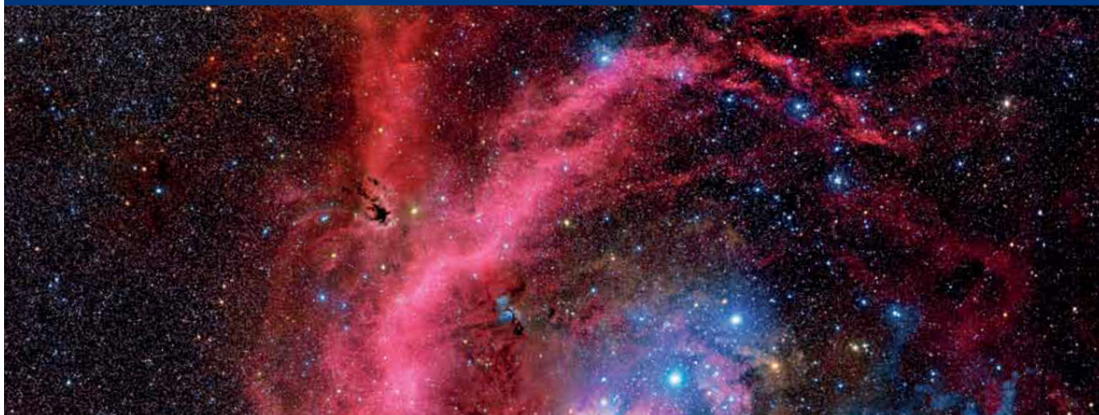
Time: -1225 days

Tak for
opmærksomheden...

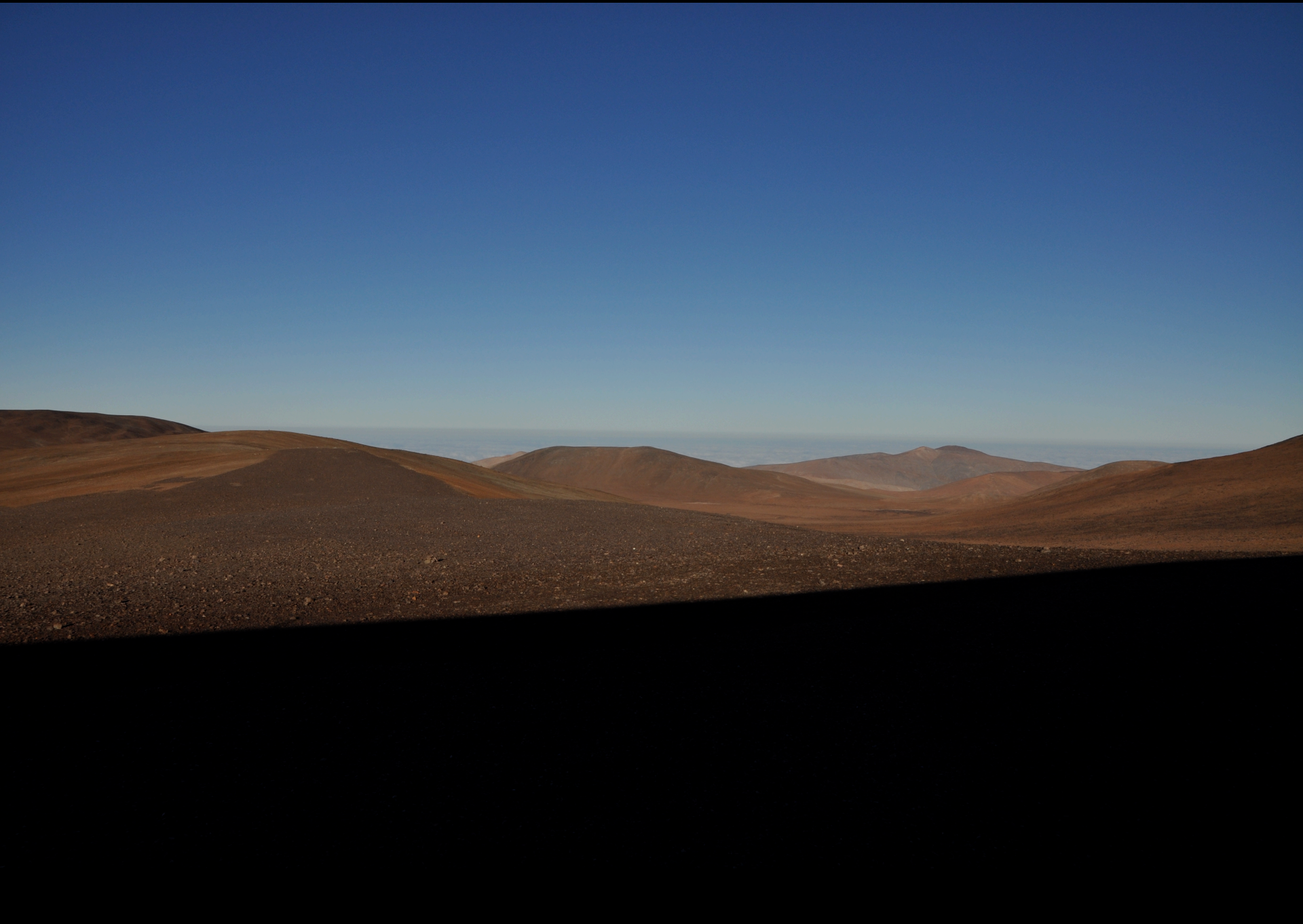
Astronomisk.dk

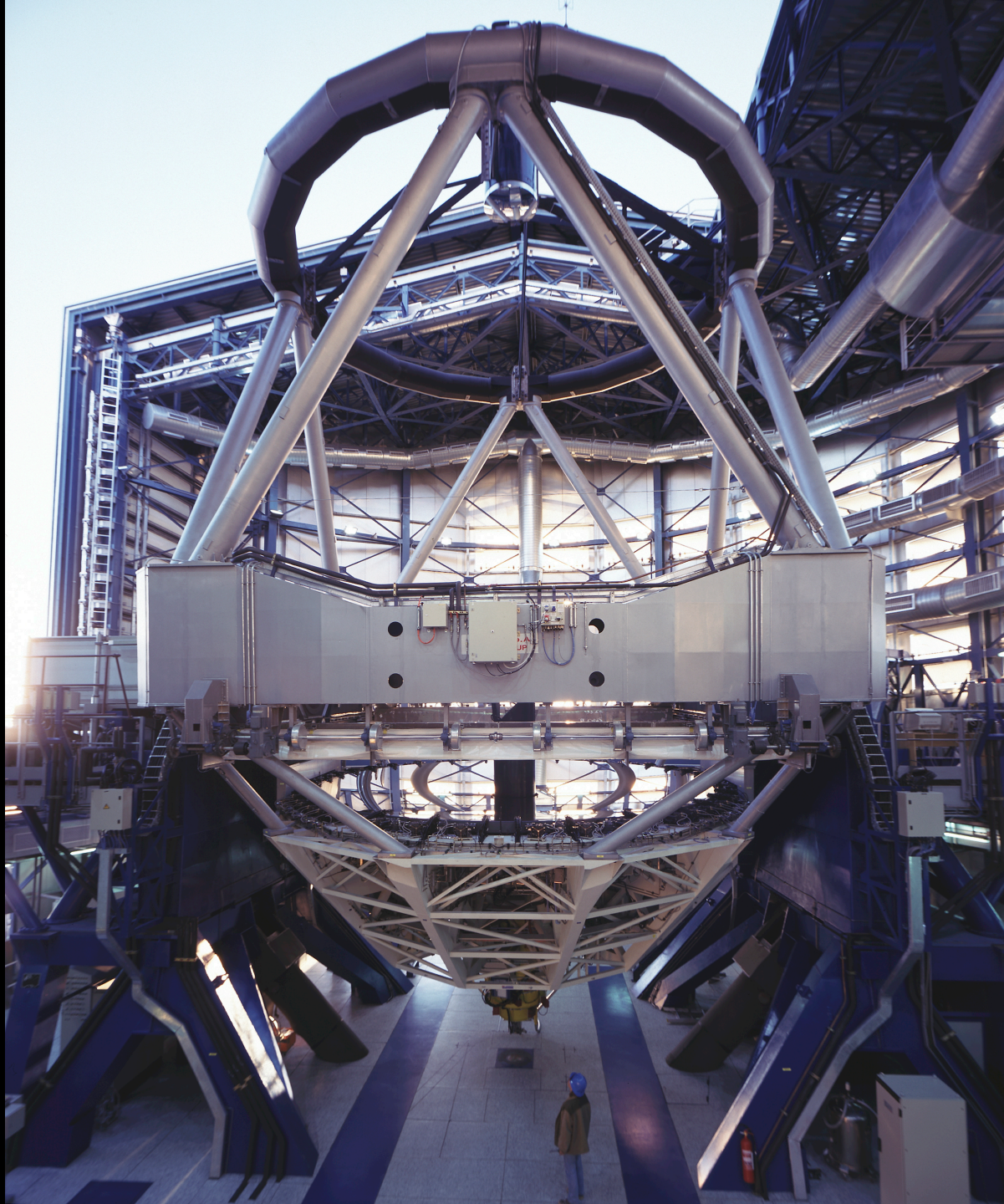
Verdensbilledet i forandring

– et hundredårigt perspektiv

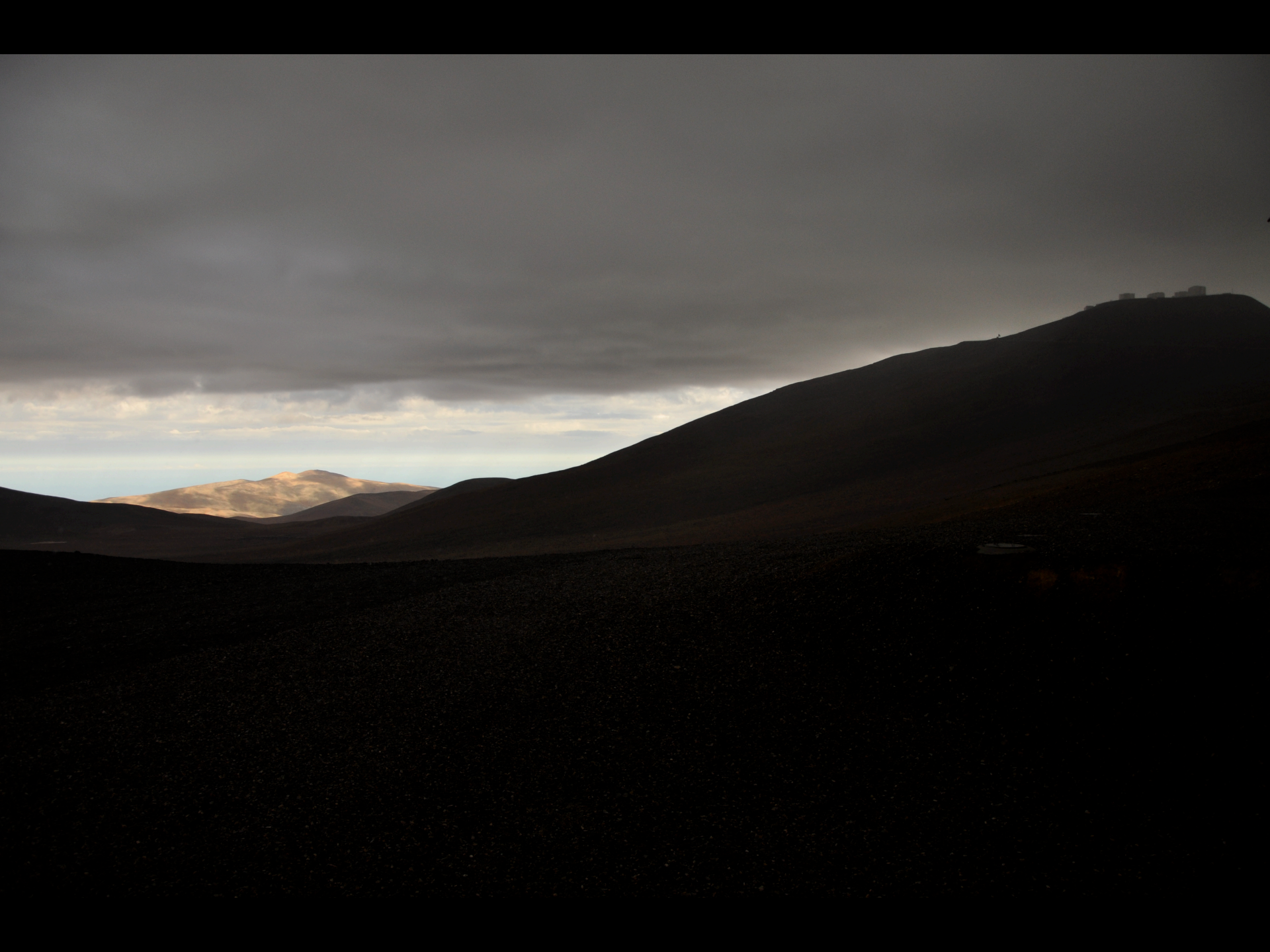


FORLAGET  EPSILON.DK







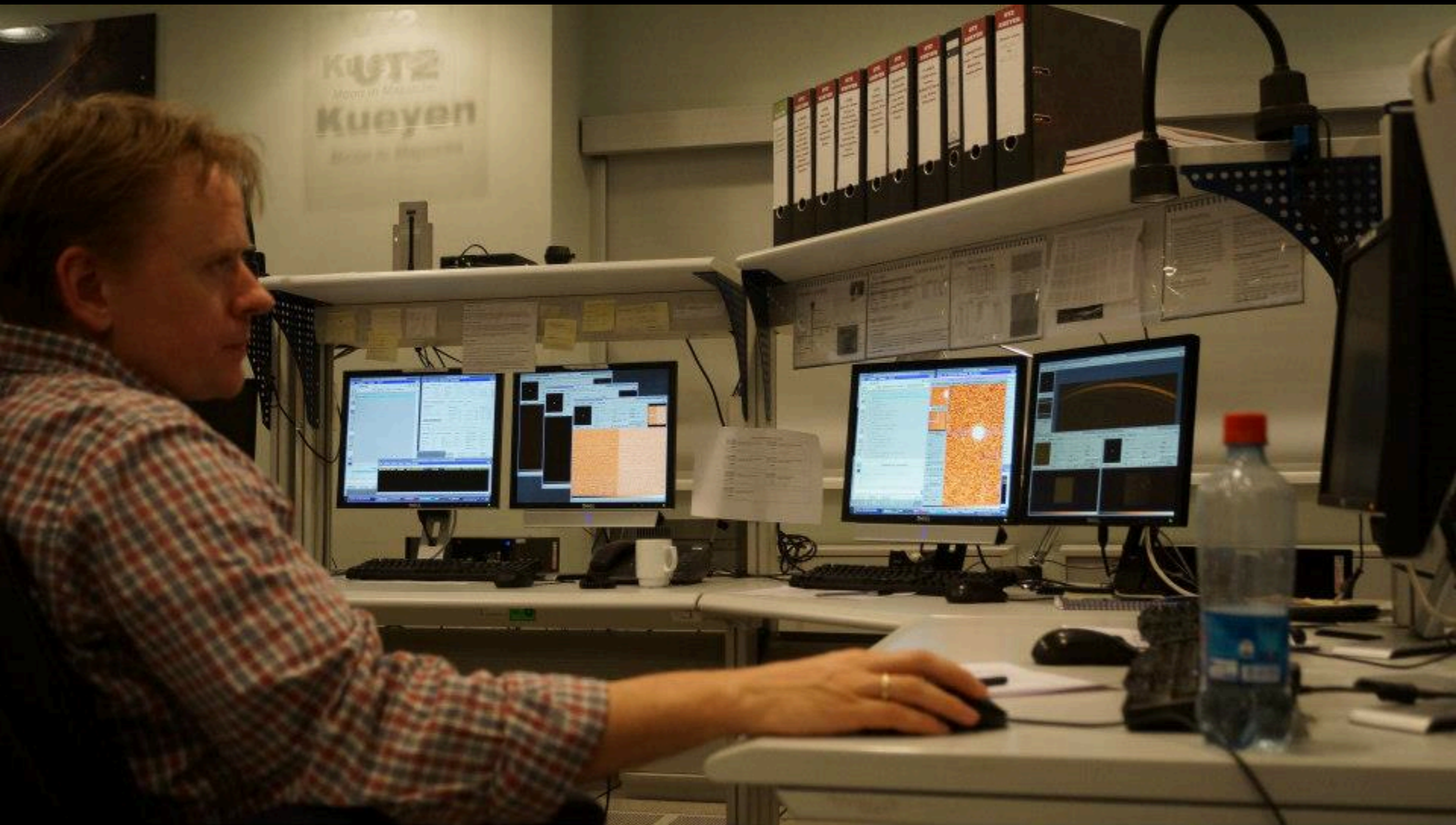












KUT2
Kueyen