

# Multimessenger Astronomy - Nye vinduer mot universet

Jonas Persson

NTNU

## **I2: Multimessenger Astronomy - Nye vinduer mot universet**

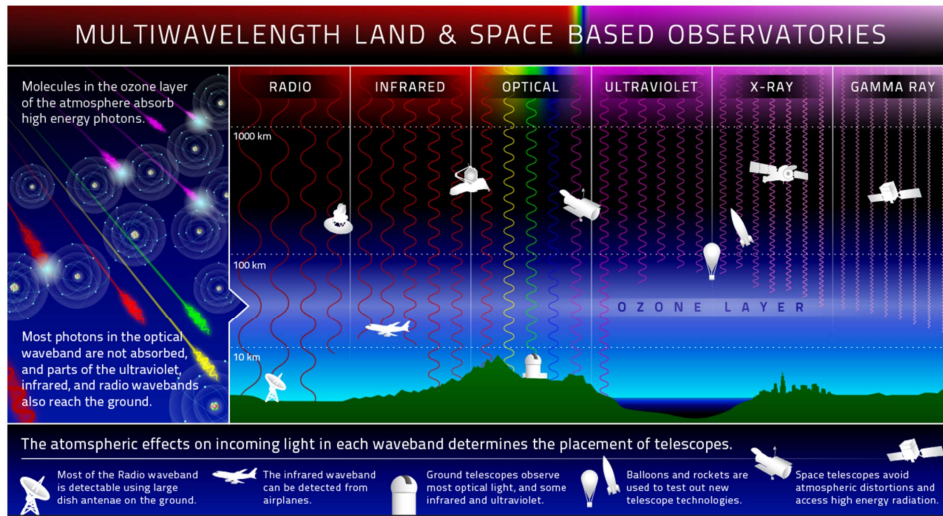
*Målgruppe: Fysikklærere i videregående skole*

Deteksjonen av gravitasjonsbølger er det siste i rekken av gjennombrudd innen astrofysikken de siste tiårene, der Hubble-teleskopet var starten på en revolusjon. Presentasjonen tar for seg hvordan ulike detektorer verden rundt virket sammen i den siste store oppdagelsen fra LIGO (GE170817) og hvordan denne hendelsen påvirker vår forståelse av universet.

## Med ögonen mot himlen

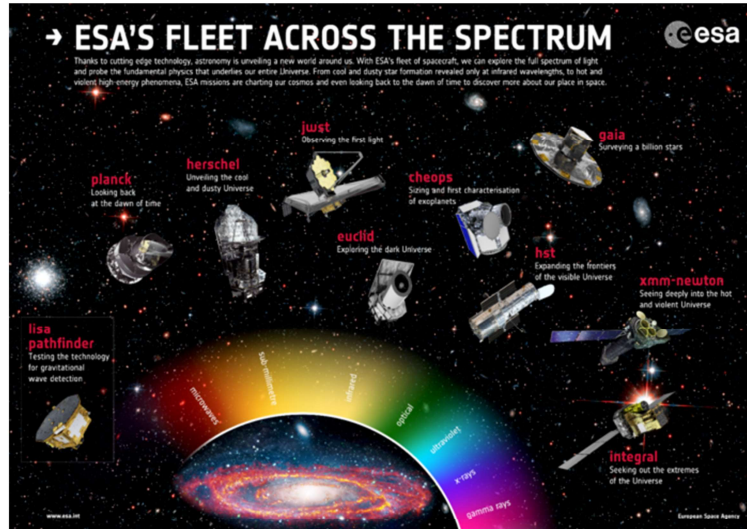
- Det nakna ögat
- Lins-teleskop (Diggs, Metius, Janssen..Lippershey 1608, Galileo, Kepler)
- Spegel-teleskop (...Newton 1666)
- Radioteleskop (Karl Jansky 1931)

# Elektromagnetisk strålning och astronomi



<http://ecuip.lib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/astrophysics/07.html>

# Elektromagnetisk strålning och astronomi

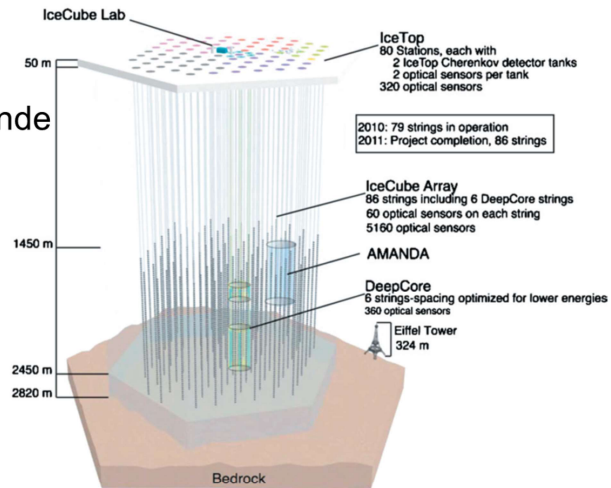


Title ESA's fleet across the spectrum poster 2015 Copyright ESA



# Neutriner

- Solen
- Supernova
- (Super-)Kamiokande
- IceCube



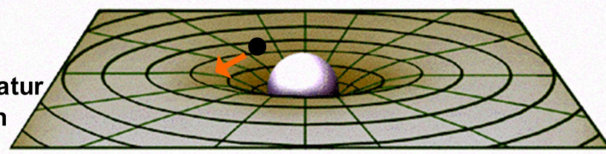
By Nasa-verve - IceCube Science Team - Francis Halzen, Department of Physics, University of Wisconsin, CC BY 3.0,

## Vår bild av universum

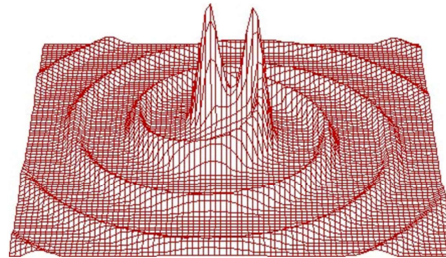
- Synligt ljus
- Radiovågor
- IR
- UV
- X-Ray
- Gamma
- (neutriner)
- Gravitationsvågor!!!!

# Gravitations bølger (GW)

Ett statiskt gravitations fält beskrivs i den generella relativitetsteorin som en kurvatur eller deformation av rum-tiden (space-time) som ändrar avståndet mellan rum-tid händelser.



Om källan rör sig med höga hastigheter (nära  $c$ ),  
*Ex. Om den är i bana runt ett annat object. Kommer "information" om det varierande fältet att röra sig utåt som gravitationell strålning –*  
En bølge av rumtid kurvatur (spacetime curvature)



# Gravitations bølger (GW)

Bølgerna är en konsekvens av den generella relativitetsteorin(GR).  
GR har ett antal experimentella bevis:



**bending of light**  
*As it passes in the vicinity  
of massive objects*

First observed during the solar  
eclipse of 1919 by Sir Arthur  
Eddington, when the Sun was  
silhouetted against the Hyades star  
cluster



**“Einstein Cross”**  
The bending of light rays  
*gravitational lensing*

Quasar image appears around the  
central glow formed by nearby  
galaxy. Such gravitational lensing  
images are used to detect a 'dark  
matter' body as the central object

Gravitationell tids-dilatation.  
GPS osv..

# Gravitations bølger

Gravitationen och bölgerna är svaga effekter.  
Det vill säga att vi måste ha stora massor och höga hastigheter.

Med andra ord  
Svarta hål och Big Bang.

Men även  
Supernovor och neutron-stjärnor.

# Gravitationsstrålning - egenskaper

GR förutsätter att snabbt varierande fält producerar variationer i rumtiden. Dessa bör vara:

• **transversella** rum-tid variation, som fortplantas med ljusfarten

**massan för en graviton = 0**

• Sträcker ut och trycker ihop rummet mellan

"test massor" – strain  $h = \Delta L/L$

• GW är ett så kallat tensor fält (EM: vektor fält)

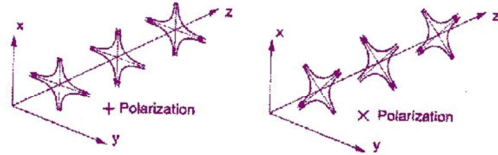
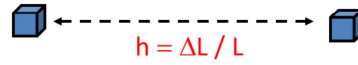
**två polarisationer:** plus ( $\oplus$ ) and cross ( $\otimes$ )

**Spin för graviton = 2**

Monopolstrålning förbjuden pga energins bevarande. (jmf EM)

Dipolstrålning förbjuden pga bevegelsemengdens bevarande.

Kvadrupolstrålning!



Contrast with EM dipole radiation:

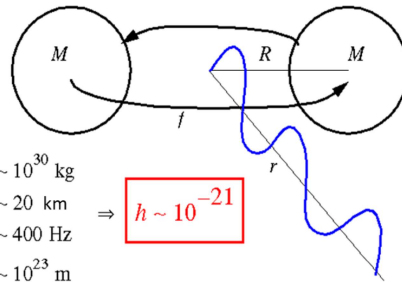


## Gravitationsstrålning - egenskaper

- Accelerande laddning  $\Rightarrow$  elektromagnetisk strålning (dipol)
- Accelerande massa  $\Rightarrow$  gravitationell strålning (kvadrupol)
- Amplituden för GW (dimensionsanalys):

$$h \approx \frac{4\pi^2 GMR^2 f_{orb}^2}{c^4 r}$$

- G liten  $\rightarrow$  Stora massor behövs och relativistiska hastigheter.



11

NTNU

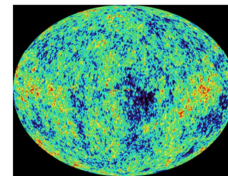
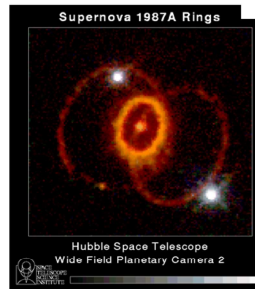
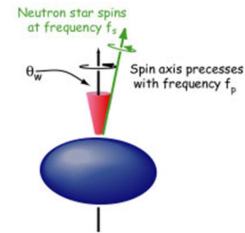
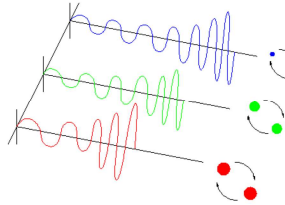
EM kvadrupol  $E \sim QR^2 f^2$

EM dipol  $E \sim Q R f$

Sol  $10^{30}$  kg

## Astrofysiska källor till GW

- Kompakta binära system
  - Svarta hål och neutron stjärnor
  - Inspiral → merger → ringdown
- Spinnande neutron stjärnor
- Neutron stjärnors födelse
  - Supernova core collapse
- Stokastisk Bakgrund
  - Big bang & det unga universet

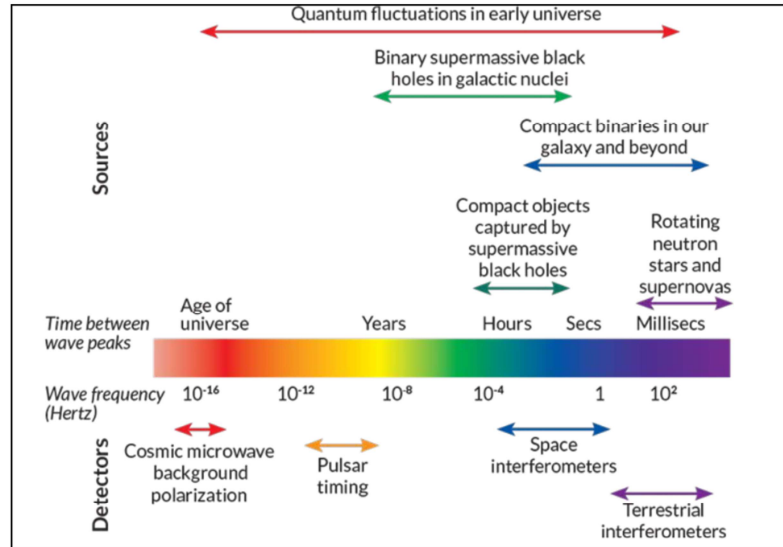


Analog from cosmic microwave background -- WMAP 2003

Se <https://www.ligo.org/index.php> för mer info.



# Astrofysiska källor till GW



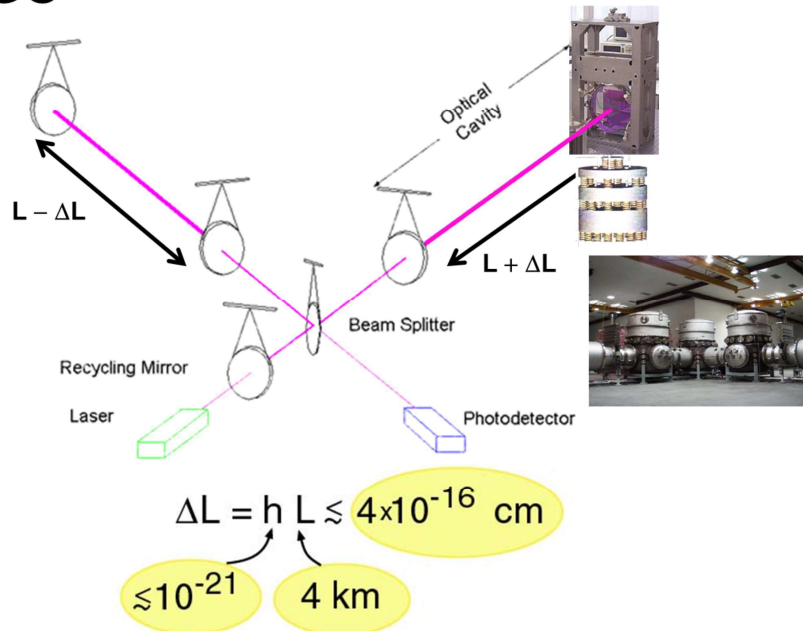
NTNU

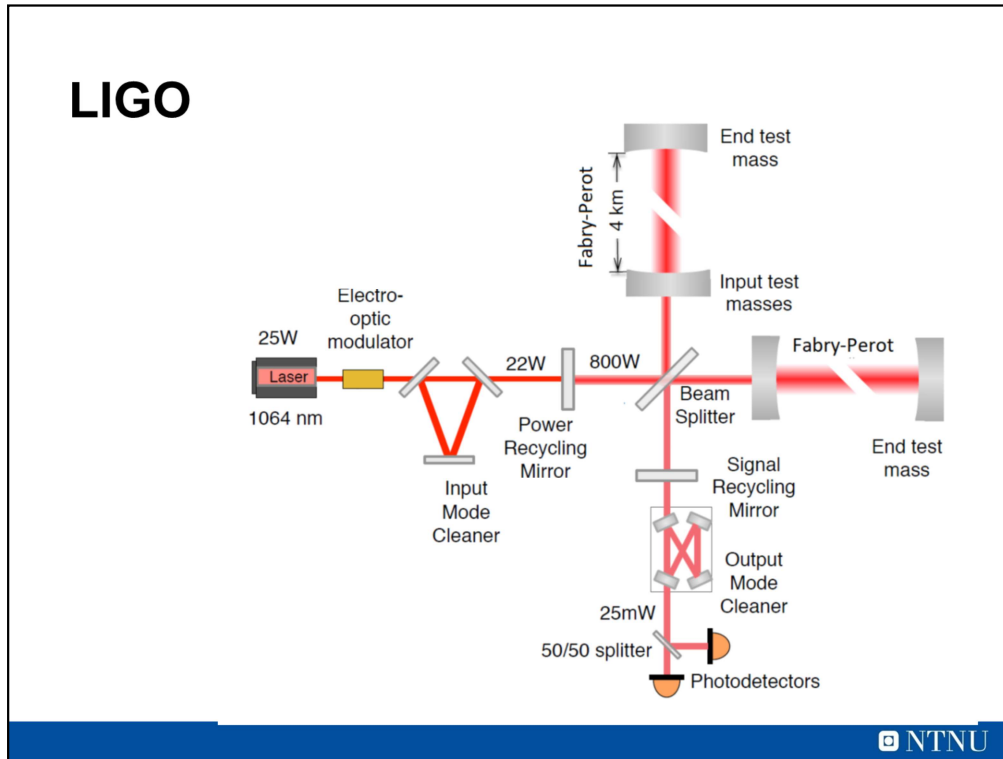
Nasa:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_Gravitational\\_wave\\_spectrum\\_Sources\\_and\\_Detectors.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Gravitational_wave_spectrum_Sources_and_Detectors.jpg)

<https://science.gsfc.nasa.gov/663/research/index.html>

# LIGO





Credit LIGO, <https://www.ligo.org/science/Publication-O1Noise/index.php>

LIGO är mer komplicerad än man kan tro.

Strålarna rensas och recirkuleras 270 gånger ger effektiv längd på 1080 km.

Effekten hög för att minska stöy (shot noise)

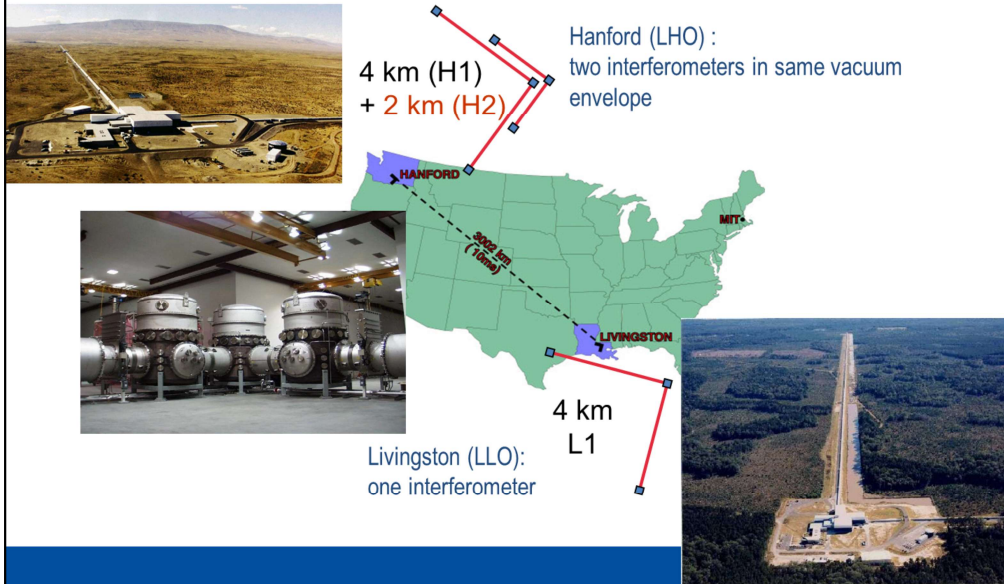
Speglarna får inte absorbera fotoner (1 på  $3 \cdot 10^6$ ) hög reflektivitet, låg uppvärmning.

Isolering av test-massor, aktiv och passiv dämpning.’

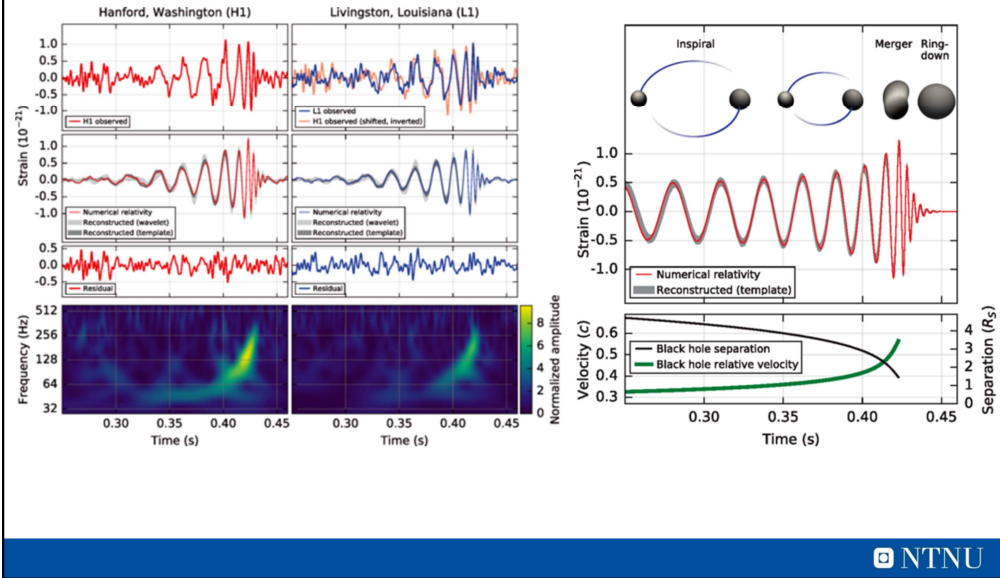
Vacuum!!!

Det som studeras är fasen på h, genom fel signalen.

# LIGO Observatorier



# GW150914



<https://www.ligo.org/science/Publication-GW150914/index.php>

## Vad har vi sett?

Händelser där svarta hål som gått samman!

GW150914

GW151226 (filter matched)

GW170104

GW170608

GW170814 LIGO + VIRGO

Men svarta hål ger bara GW.

17 aug. 2017 Kollision mellan två neutronstjärnor! (GW170817)

1 vecka innan observationsperioden slutar!

# GW170817

August 17, 2017, 12:41:04 (UT) LIGO-Virgo observerade GW (neutronstjärne-merger) (GW170817).

2 sekunder senare observerades en "Gamma Ray Burst" (Gammablixt) av Fermi och INTEGRAL satelliterna. (GRB170817A).

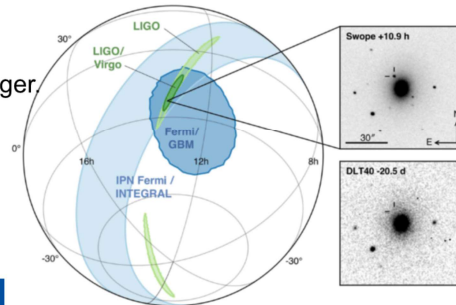
Detta initierade ett sök över den region som dessa pekade ut med optiska teleskop (+IR, UV)

12 timmar senare observerades ett nytt optiskt objekt 40 Mpc (130 Mly) från Jorden.

Inga neutriner observerades!

Detta var bevis för en neutronstjärne-merger.

Kilonova!



[http://www.virgo-gw.eu/images/GW170817\\_orig.png](http://www.virgo-gw.eu/images/GW170817_orig.png)

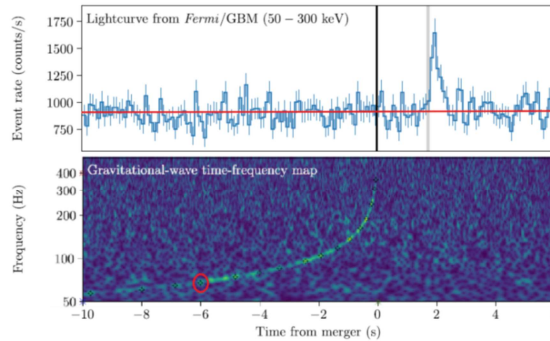
<http://www.virgo-gw.eu/> ; **LIGO and Virgo make first detection of gravitational waves produced by colliding neutron stars**

# GW170817

Kolliderande (merger) neutron stjärnor ger stråling i hela EM-spektret.

Ger mer information!

- (Observationella) Bevis för att neutronstjärn-mergers är en källa till tyngre element i universum.
- Kan ge information om universums expansion.
- Ny övre gräns på massan hos en neutronstjärna.
- Neutronstjärne-merger kan ge en gamma burst.



NTNU

Part of the joint, multimessenger detection of GW170817 and GRB170817A. Top: the summed Fermi-GBM light curve in the 50-300 keV energy range. Bottom: the time-frequency map of GW170817. All times here are referenced to the GW170817 coalescence time  $T_0$ .

<http://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aa920c>



## **GW170817/GRB170817A**

Efter gammablixten:

- Efterglöd i längre våglängder:
- X-ray
- UV
- Synligt
- IR
- Mikrovågor
- Radiovågor

## Skapande av nya atomkärnor - Nucleosynthesis

Stjärnor producerar kärnor upp till Fe, Ni.

Tyngre kärnor produceras genom neutron-infångning.  
s- och r-processer.



## Skapande av nya atomkärnor - Nucleosynthesis

Stjärnor producerar kärnor upp till Fe, Ni.

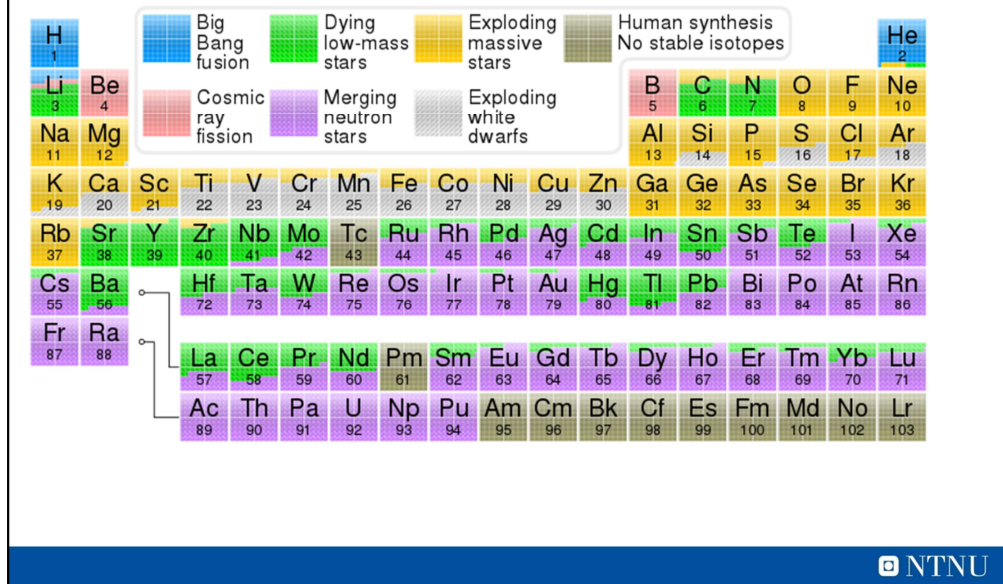
Tyngre kärnor produceras genom neutron-infångning.  
s- och r-processer.

Neutron-rik miljö.

Kilonova!!!

Här skapas mycket av de tyngsta grundstofferna!!!

# Nucleosynthesis



Så att vi är stjänsstoff kanske skall ändras lite..

Det mesta av oss är aska från stjärner, men lite kommer från kolliderande neutronstjärnor.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Nucleosynthesis>,

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nucleosynthesis\\_periodic\\_table.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nucleosynthesis_periodic_table.svg)

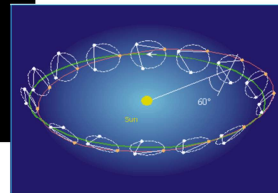
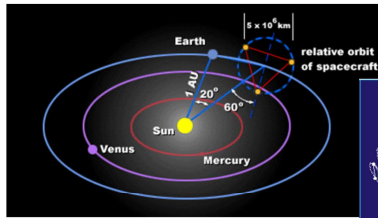
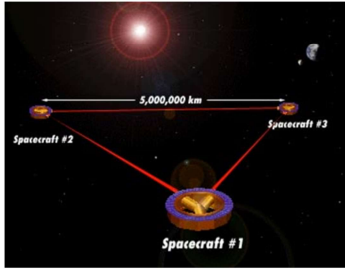
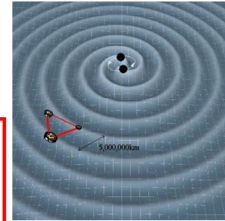
## Framtiden

- Ett nytt sätt att studera universum (GW)
- Kombination med EM och neutriner.
- Multimessenger Astronomy
- Sammankopplade observationer möjliggör en ny observationell era, kanske större är både uppfinningen av Teleskopet (1608) eller Hubble-teleskopet (1990)

# The Laser Interferometer Space Antenna **LISA**

Three spacecraft in orbit about the sun, with 5 million km baseline

The center of the triangle formation will be in the ecliptic plane 1 AU from the Sun and 20 degrees behind the Earth.



[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/LISA](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/LISA)

<https://lisa.nasa.gov/>

## Sensitivity bandwidth

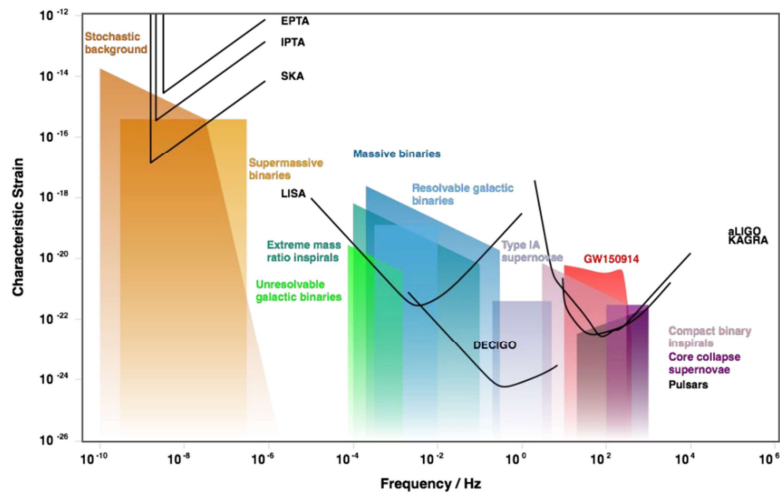


Figure 6: The expected performance of future detectors in terms of strain and frequency [35].

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0264-9381/32/1/015014>

EPTA European Pulsar Timing Array

IPTA International pulsar Timing array

SKA Square Kilometer array (radioteleskop)

DECIGO The **Deci-Hertz Interferometer Gravitational wave Observatory** (or **DECIGO**)