

Gull!

Astrofysikk, kjernefysik, kvantmekanik og relativitetsteori i vardagen?

Jonas Persson
Institutt for Fysikk, NTNU



Periodiska systemet

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen 1.008 (1.0078, 1.0082)																	2 He helium 4.0026
3 Li lithium 6.94 (6.938, 6.947)	4 Be beryllium 9.0122	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight (enclosed atomic weight)										13 B boron 10.81 (10.806, 10.821)	14 C carbon 12.011 (12.009, 12.012)	15 N nitrogen 14.007 (14.006, 14.008)	16 O oxygen 15.999 (15.999, 16.003)	17 F fluorine 18.998	18 Ne neon 20.180
11 Na sodium 22.990	12 Mg magnesium 24.305 (24.304, 24.307)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al aluminum 26.982	14 Si silicon 28.086 (28.084, 28.086)	15 P phosphorus 30.974	16 S sulfur 32.06 (32.059, 32.076)	17 Cl chlorine 35.45 (35.446, 35.457)	18 Ar argon 39.95 (39.792, 39.963)
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titanium 47.867	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.996	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630(8)	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.971(8)	35 Br bromine 79.904 (79.901, 79.907)	36 Kr krypton 83.798(2)
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium 98.906	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38 (204.38, 204.38)	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganesson

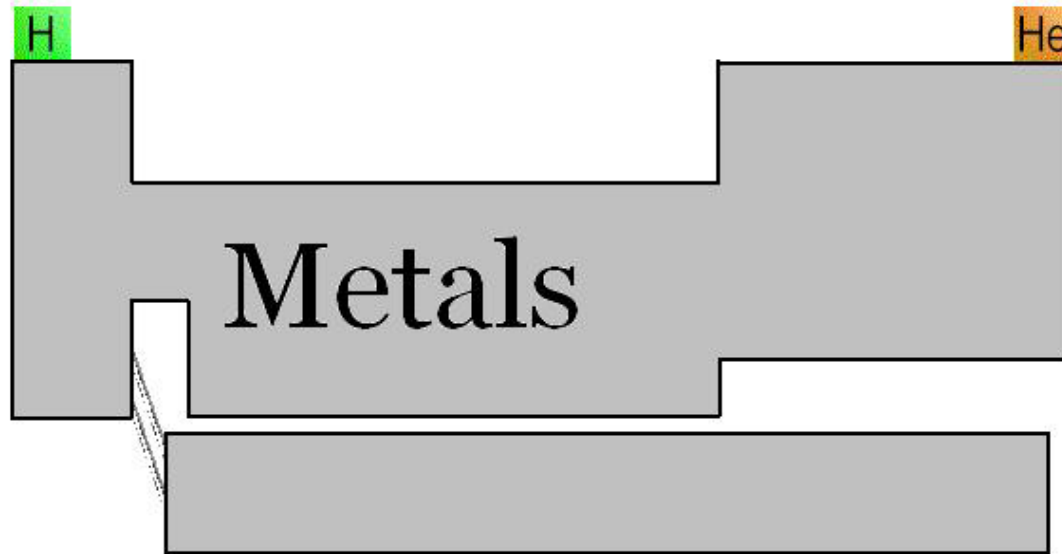


57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36(2)	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018.
Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Periodiska systemet – för astrofysiker

The Astronomers' Periodic Table of Elements

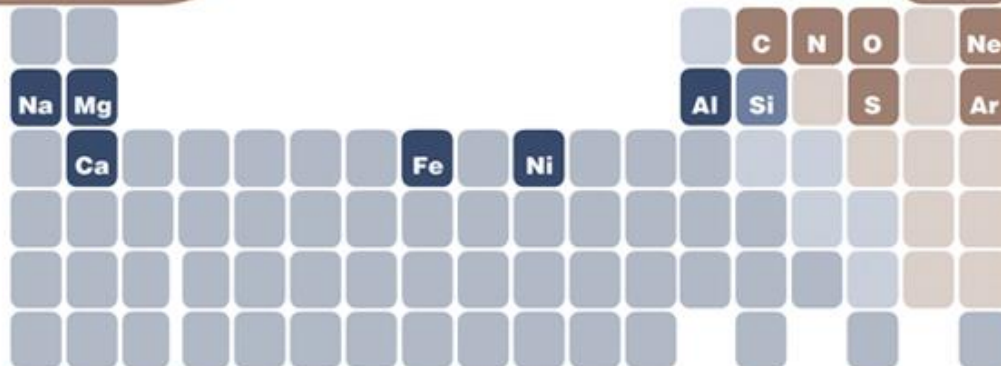


Periodiska systemet - för astrofysiker



The Periodic Table for Astronomy

A graphic representation of the abundances of the elements is shown in this "astronomers'" version of the periodic table. What leaps out of this table is that the simplest elements, hydrogen and helium, are far and away the most abundant.



Var kommer allt från?

Big Bang:

H, He + lite Li, Be

De första stjärnorna:

(Stora kortlivade....)

Små långlivade....

Stjärnans livscykel

- Beror på storleken.

Möjliga steg i utvecklingen när det gäller grundstoffer:

Hydrogen fusion $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$

Helium fusion $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}$

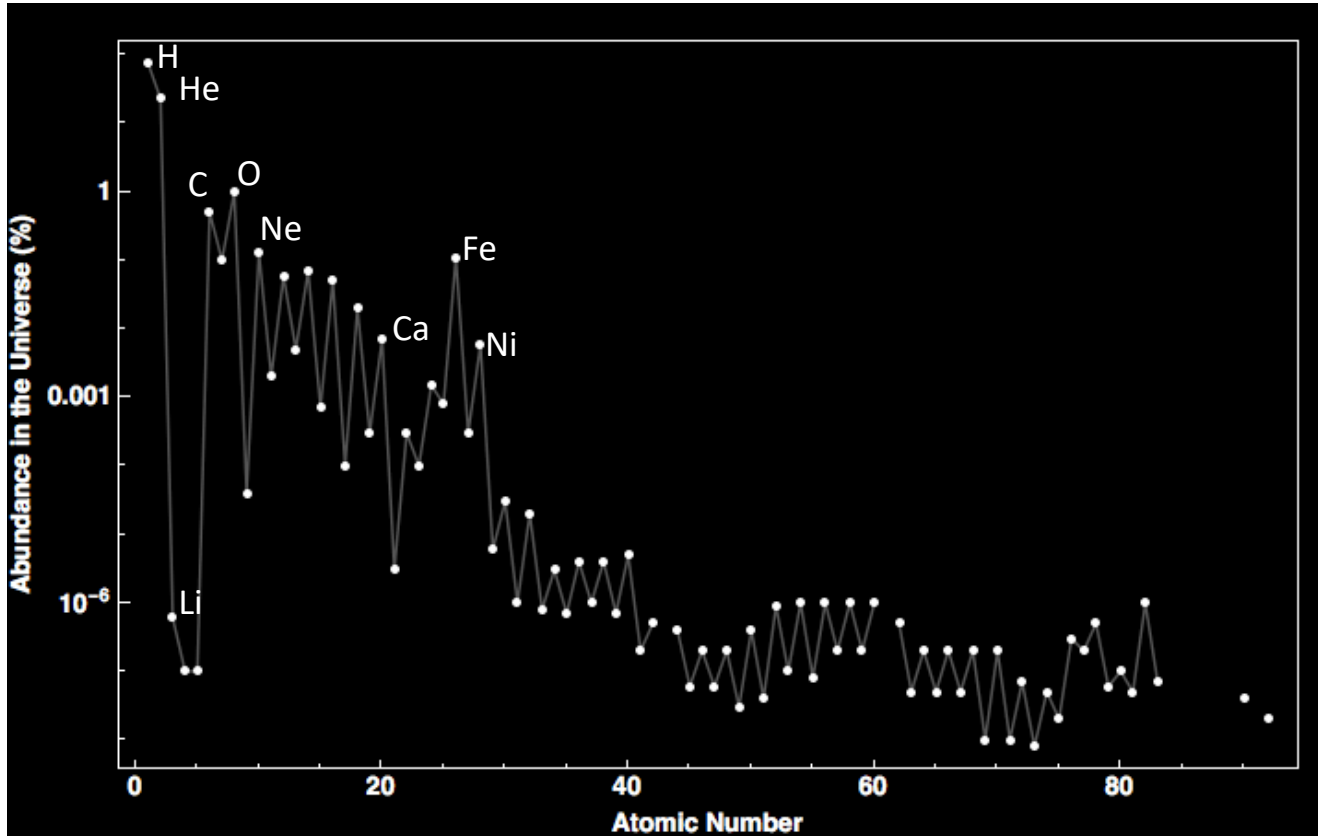
Carbon Fusion $\rightarrow \text{Ne, O, Na, Mg...}$

Neon burning $\rightarrow \text{Mg, O}$

Oxygen fusion $\rightarrow \text{Mg, Si, S..}$

Silicon fusion $\rightarrow \text{Fe, Ni}$

Grundämnen i Universum

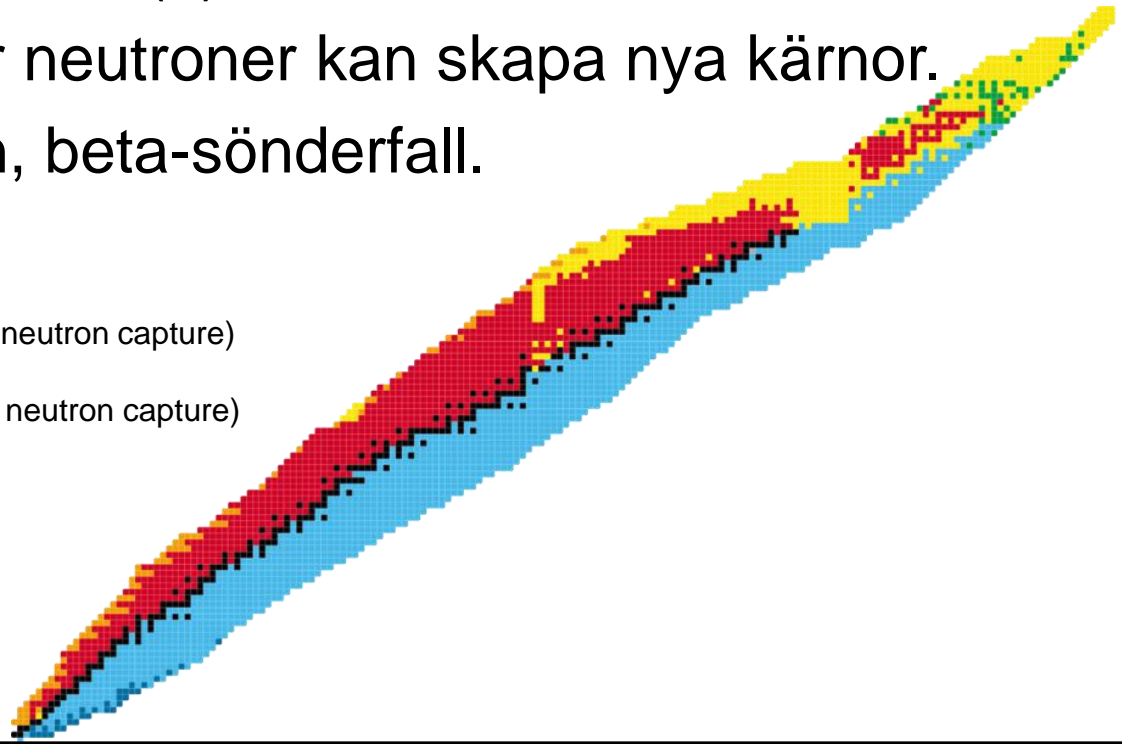


Tyngre grunnstoffer

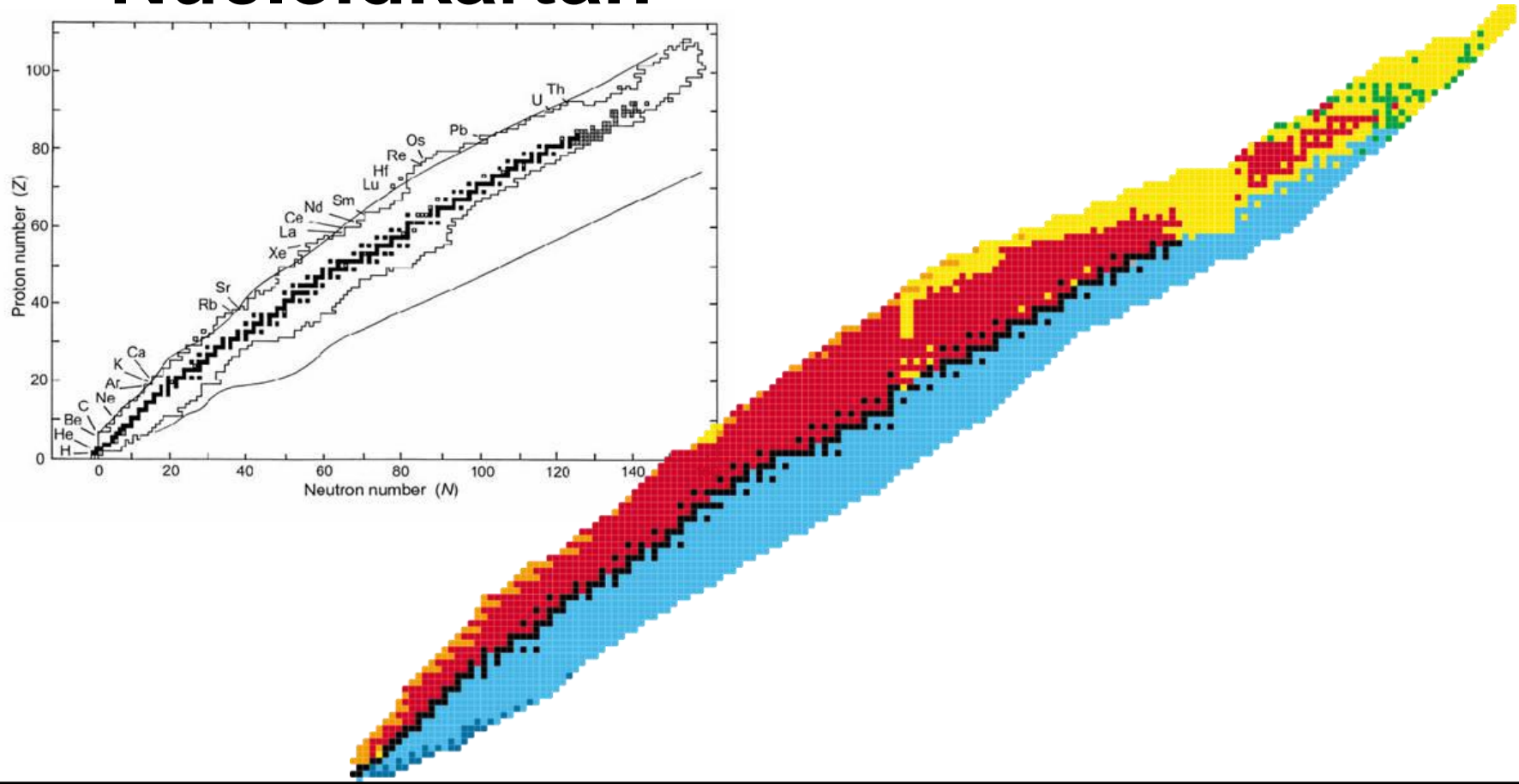
- Det mesta fast i stjärnornas kärna (resterna)
- De tyngre?
- Supernova?
- Hur skapas de?

Processer

- Neutroner, Protoner(?)
- Stora mängder neutroner kan skapa nya kärnor.
- Ta upp neutron, beta-sönderfall.
- Två processer:
 - s-process (Slow neutron capture)
 - r-process (Rapid neutron capture)



Nucleidkartan



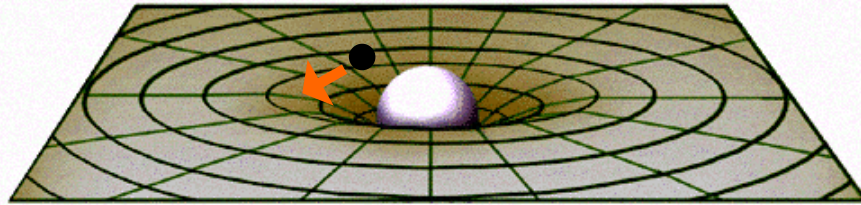
Guld

Problem!

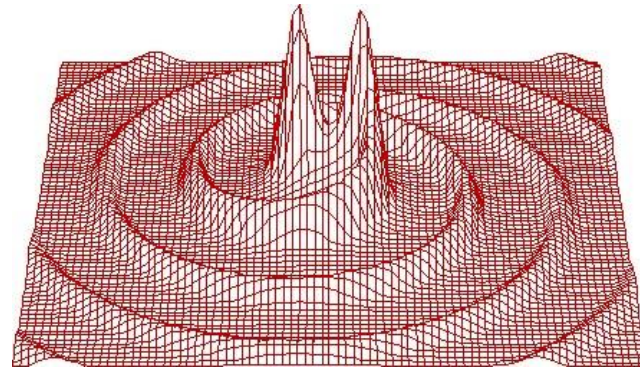
- Guld (bland annat) kan inte skapas i en supernova.
- Andra processer???

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.

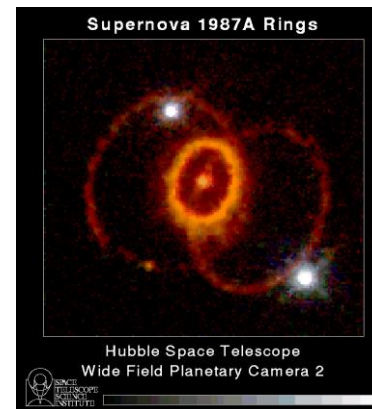
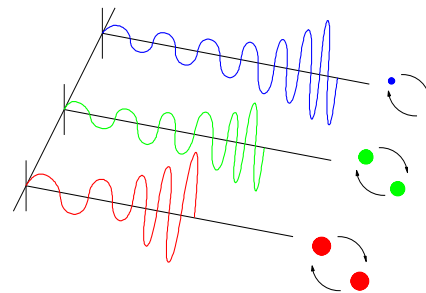


Om källan rör sig med höga hastigheter (nära c),
Ex. Om den är i bana runt ett annat object. Kommer "information" om det varierande fältet att röra sig utåt som gravitationell strålning –
 En bølge av rumtid kurvatur (spacetime curvature)



Astrofysiska källor till GW

- Kompakta binära system
 - Svarta hål och neutron stjärnor
 - Inspiral → merger → ringdown
- Neutron stjärnors födelse
 - Supernova core collapse



LIGO Observatorier



4 km (H1)
+ 2 km (H2)

Hanford (LHO):
two interferometers in same vacuum envelope

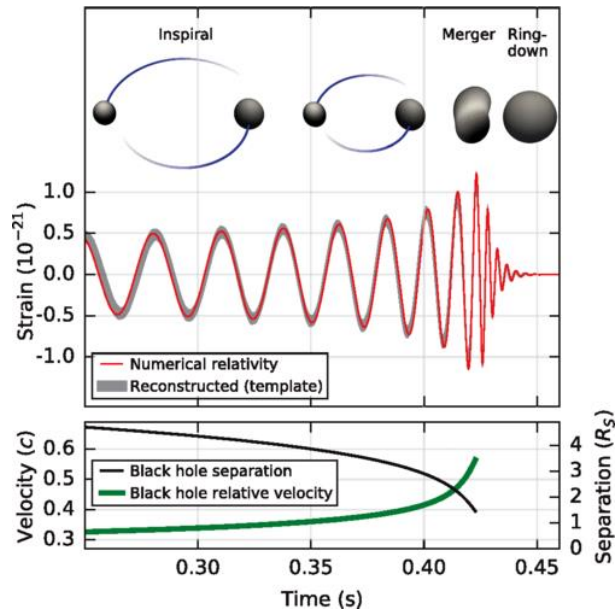
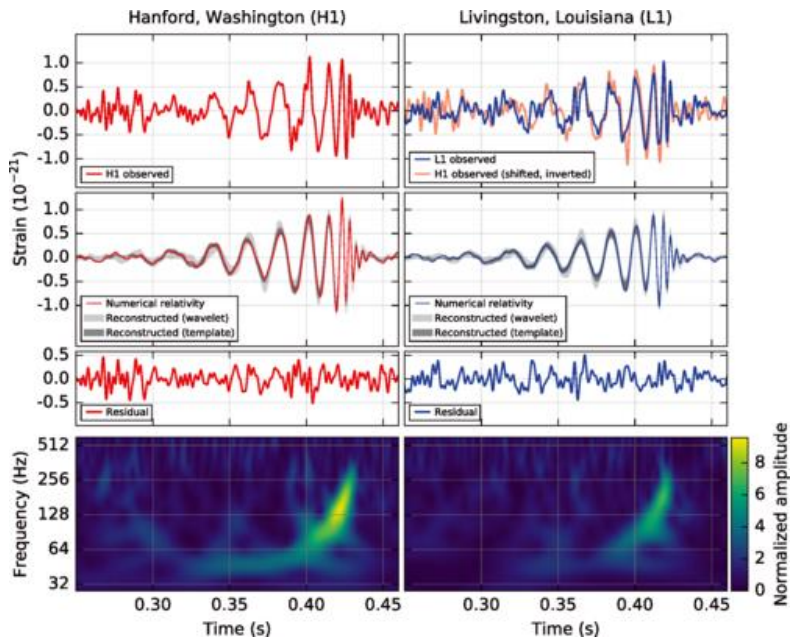


Livingston (LLO):
one interferometer

4 km
L1



GW150914



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).

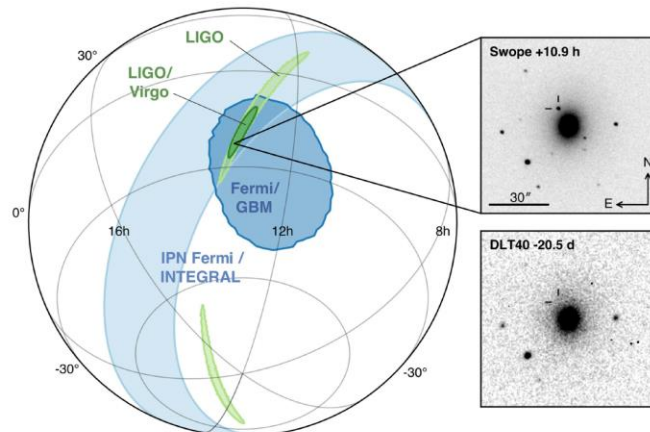
Detta initierade ett sök över den region som dessa pekade ut med optiska teleskop (+IR, UV)

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!



Skapande av nya atomkärnor - Nucleosynthesis

Stjärnor producerar kärnor upp till Fe, Ni.

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

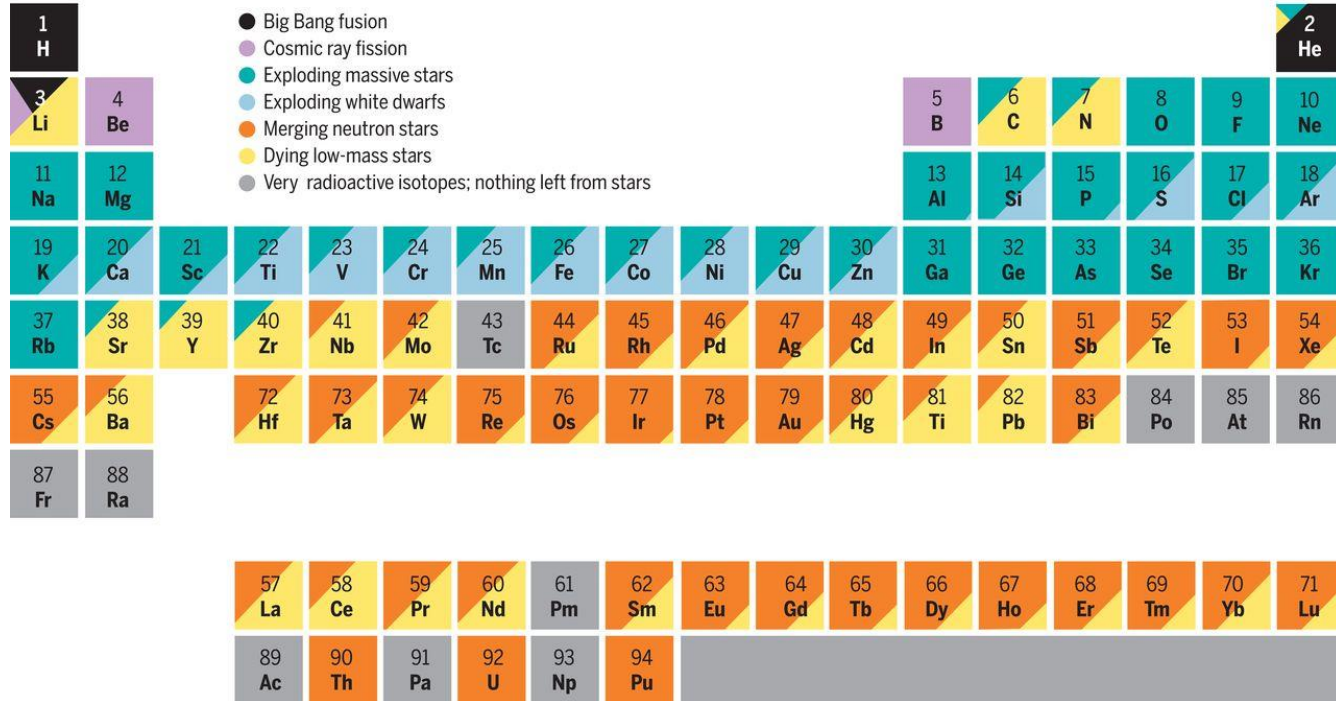
Neutron-rik miljö.

Kilonova!!!

Här skapas mycket av de tyngsta grundstofferna!!!

Nukleonsyntes

The evolving composition of the Universe



Dying low-mass stars: s-process, not effective for all elements

Guld

Vi har sett hur guld kan finnes genom bruk av:

- Astrofysik
- Kärnfysik
- Relativitetsteori

Guld

more than what the eye beholds..

Gul som guld..

Enda metallen som är gul!

Varför är guld gult?



Guld

Varför är guld gult?

Egenskap som beror på metallernas elektronstruktur.

Dvs indirekt på energinivåerna i atomen.

s-elektroner

IUPAC Periodic Table of the Elements

Key:																							
atomic number																							
Symbol																							
element name																							
atomic weight																							
standard atomic weight																							
1 H hydrogen 1.008(1)																	2 He helium 4.0026						
3 Li lithium 6.94(1)	4 Be beryllium 9.0122																	5 B boron 10.81(1)	6 C carbon 12.011	7 N nitrogen 14.007	8 O oxygen 15.999	9 F fluorine 18.998	10 Ne neon 20.180
11 Na sodium 22.990	12 Mg magnesium 24.305																	13 Al aluminum 26.982	14 Si silicon 28.086	15 P phosphorus 30.974	16 S sulfur 32.06	17 Cl chlorine 35.45	18 Ar argon 39.948
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titanium 47.88	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.996	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546	30 Zn zinc 65.38	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.971	35 Br bromine 79.904	36 Kr krypton 83.798						
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.94	43 Tc technetium 98	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.905	46 Pd palladium 106.36	47 Ag silver 107.868	48 Cd cadmium 112.411	49 In indium 114.818	50 Sn tin 118.710	51 Sb antimony 121.757	52 Te tellurium 127.6	53 I iodine 126.905	54 Xe xenon 131.29						
55 Cs caesium 132.905	56 Ba barium 137.327	57-71 lanthanoids		72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.948	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.207	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.084	79 Au gold 196.967	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium 209	85 At astatine 210	86 Rn radon 222					
87 Fr francium 223	88 Ra radium 226	89-103 actinoids		104 Rf rutherfordium 261	105 Db dubnium 262	106 Sg seaborgium 263	107 Bh bohrium 264	108 Hs hassium 265	109 Mt meitnerium 266	110 Ds darmstadtium 267	111 Rg roentgenium 268	112 Cn copernicium 269	113 Nh nihonium 270	114 Fl flerovium 271	115 Mc moscovium 272	116 Lv livermorium 273	117 Ts tennessine 274	118 Og oganeson 276					



57 La lanthanum 138.905	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.908	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium 145	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.964	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.925	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.930	68 Er erbium 167.259	69 Tm thulium 168.930	70 Yb ytterbium 173.054	71 Lu lutetium 174.967
89 Ac actinium 227	90 Th thorium 232.0377	91 Pa protactinium 231.036	92 U uranium 238.02891	93 Np neptunium 237	94 Pu plutonium 244	95 Am americium 243	96 Cm curium 247	97 Bk berkelium 247	98 Cf californium 251	99 Es einsteinium 252	100 Fm fermium 257	101 Md mendelevium 258	102 No nobelium 259	103 Lr lawrencium 260

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018.
Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Relativistiska effekter

Elektronernas (s-elektroners) fart kan approximeras med:

$$v \approx \frac{Z}{137} c$$

Ca: 50% av c för Guld (Z=79)!

Elektronbanan kontraheras, hårdare bunden. d-elektroner påverkas.

Minskar gapet mellan s- och d-. Guld absorberar blått ljus i stället för UV.

Med andra ord! Guld är gult på grund av relativistiska effekter...

Go som gull...

Guld finns på grund av

- Astrofysik
- Kärnfysik
- Relativitetsteori

Guld är gul på grund av

- Kvantmekanik
- Relativitetsteori

Guld har genomgått två våldsamma processer; stjärnkollaps till neutronstjärna och två kolliderande neutronstjärnor.

Men det finns mer..

Relativistiska effekter sänker kvikksølvs smältpunkt från 82°C till -39°C.

85% av spänningen (2V) i bly-batterier beror på relativistiska effekter.

Kemin för tyngre grunnstoff følger inte nödvändigtvis Mendelejevs system..

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen (1.008, 1.008)																	2 He helium 4.0026	
3 Li litium (6.941, 6.941)	4 Be beryllium 9.0122																	10 Ne neon 20.180
11 Na natrium 22.990	12 Mg magnesium (24.305, 24.305)																	18 Ar argon (39.948, 39.948)
19 K kalium 39.098	20 Ca calcium 40.078	21 Sc skandium 44.956	22 Ti titanium 47.88	23 V vanadium 50.942	24 Cr krom 51.996	25 Mn mangan 54.938	26 Fe järn 55.845	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu koppar 63.546	30 Zn zink 65.38	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630	33 As arsenik 74.922	34 Se selen 78.971	35 Br brom 79.904	36 Kr krypton 83.798	
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirkonium 91.224	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.94	43 Tc technetium 98.906	44 Ru rutenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd kadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimon 121.76	52 Te tellurium 127.60	53 I iodin 126.91	54 Xe xenon 131.29	
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 Lanthanoider	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W wolfram 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platin 195.08	79 Au guld 196.97	80 Hg mercur 200.59	81 Tl tallium 204.38	82 Pb blead 207.2	83 Bi bismut 208.98	84 Po polonium [209]	85 At astat [210]	86 Rn radon [222]	
87 Fr francium [223]	88 Ra radium [226]	89-103 Aktinoider	104 Rf rutherfordium [261]	105 Db dubnium [262]	106 Sg seaborgium [263]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs hassium [265]	109 Mt meitnerium [266]	110 Ds darmstadtium [267]	111 Rg roentgenium [268]	112 Cn copernicium [269]	113 Nh nihonium [270]	114 Fl flerovium [271]	115 Mc moscovium [272]	116 Lv livermorium [273]	117 Ts tennessium [274]	118 Og oganeson [276]	
57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium [145]	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97				
89 Ac actinium [227]	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium [231]	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium [237]	94 Pu plutonium [244]	95 Am americium [243]	96 Cm curium [247]	97 Bk berkelium [247]	98 Cf californium [251]	99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [257]	101 Md mendelevium [258]	102 No nobelium [259]	103 Lr lawrencium [260]				



For rates and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018. Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

- Relativitet gör att Guld är gult.
- Relativitet gör att Kvikksølv är flytande vid rumstemperatur
- Relativitet gör att bilbatterier (bly) fungerar..

Så guldet vi har kommer från neutron-stjärnor och har en mer spännande historia vi någonsin anat.

Tack för mig!