

El Universo: Composición y Evolución

Ernesto Nicola

Palma de Mallorca, 09-12-2021

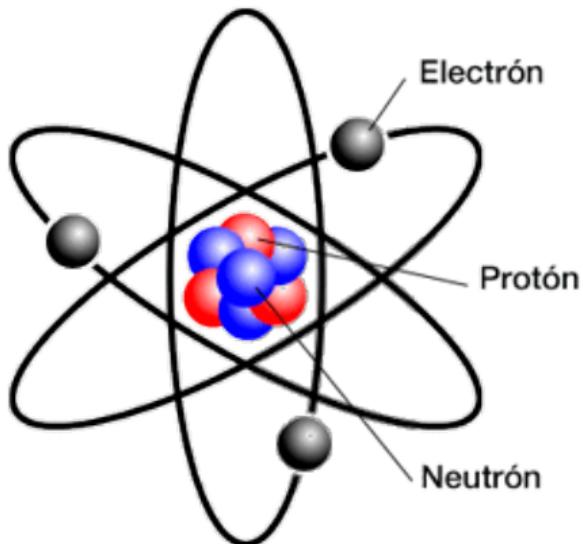


Contenido de la charla

- ① Composición del Universo
- ② Partículas Elementales y el Modelo Estándar
 - Las Partículas Elementales
 - El Modelo Estándar
 - Las 4 Fuerzas Fundamentales de la Naturaleza
 - La Masa de las Partículas Elementales y el Mecanismo de Higgs
- ③ Origen de los Elementos
 - La Composición Actual del Universo
 - La Nucleosíntesis del Big Bang
 - La Nucleosíntesis posterior al Big Bang
- ④ Evolución del Universo y la Materia

1. Composición del Universo

La Materia está Compuesta de Átomos



- El átomo es la unidad más pequeña de la materia que tiene propiedades de un elemento químico.
- Cada sólido, líquido, gas y plasma se compone de átomos neutros o ionizados.
- Cada átomo se compone de un núcleo y uno o más electrones unidos al núcleo.
- El núcleo está compuesto de uno o más protones y típicamente un número similar de neutrones.
- Más del 99,94 % de la masa del átomo está en el núcleo.
- Los protones tienen una carga eléctrica positiva, los electrones tienen una carga eléctrica negativa y los neutrones no tienen carga eléctrica.

Tabla Periódica de los Elementos

1	H	Helium	1.008	He	Helium	4.002602	
2	Li	Litio	6.94	Be	Berilio	9.012181	
3	Na	Sodio	22.989769	Mg	Magnesio	24.308	
4	K	Potasio	39.0983	Ca	Cálcio	40.078	
5	Rb	Rubidio	85.4679	Sc	Sandio	44.961	
6	Cs	Cálcio	132.90549146	Ti	Titánio	47.87	
7	Fr	Freronio	136.90549146	V	Vanadio	50.9415	
8				Cr	Chromio	51.981	
9				Mn	Manganeto	54.938944	
10				Fe	Iron	55.845	
11				Co	Cobalto	58.93194	
12				Ni	Níquel	58.6934	
13				Cu	Cobre	63.546	
14				Zn	Zinc	65.48	
15				Ga	Gálio	69.723	
16				Ge	Germanio	72.69	
17				As	Arsénio	74.92	
18				Se	Selenio	78.95	
				Br	Bromo	79.904	
				Kr	Kriptón	83.798	
5	Rb	Rubidio	85.4679	Sr	Sodio	87.62	
6	Cs	Cálcio	132.90549146	Y	Yttrio	88.90784	
7	Fr	Freronio	136.90549146	Zr	Zirconio	91.224	
8				Nb	Níobio	92.90637	
9				Mo	Molibdeno	95.95	
10				Tc	Tecnecio	98	
11				Ru	Ruthenio	101.07	
12				Rh	Ródio	102.9080	
13				Pd	Palladio	106.42	
14				Ag	Argento	107.8682	
15				Cd	Cadmio	112.414	
16				In	Indio	114.818	
17				Sn	Tin	118.113	
18				Sb	Antimonio	121.76	
				Te	Teftalio	127.80	
				I	Iodo	129.9047	
				Xe	Xeno	131.293	
6	Cs	Cálcio	132.90549146	Ba	Bario	137.327	
7	Fr	Freronio	136.90549146	*	Hf	Hafnio	178.49
8				Ta	Tantalo	180.94798	
9				W	Tungsteno	183.84	
10				Re	Rhenio	186.267	
11				Os	Osmio	186.22	
12				Ir	Íridio	186.217	
13				Pt	Platino	191.084	
14				Au	Ouro	196.66669	
15				Hg	Mercurio	200.59	
16				Tl	Thalio	204.29	
17				Pb	Lead	207.2	
18				Bi	Bismuto	208.98840	
				Po	Polônio	209	
				At	Atómio	217.0	
				Rn	Rônio	222	
7	Fr	Freronio	136.90549146	Ra	Rátonio	226.076	
8				**	Rf	Rutherfordio	231
9					Db	Dubnio	231
10					Sg	Susitánio	231
11					Bh	Beltzánio	231
12					Hs	Hessio	231
13					Mt	Moscovito	231
14					Ds	Darmstadtio	231
15					Rg	Rutherfordio	231
16					Cn	Copernicito	231
17					Nh	Nihonium	231
18					Fl	Flerovio	231
					Mc	Moscovito	231
					Lv	Livermorio	231
					Ts	Tsirio	231
					Og	Oganesson	231
				*	La	Lanthanio	139.9047
					Ce	Cerio	140.115
					Pr	Praseodimio	140.9076
					Nd	Neodimio	141.242
					Sm	Praseodimio	150.36
					Eu	Eurobio	151.964
					Gd	Gádolio	157.25
					Tb	Terbio	158.9035
					Dy	Dígeo	162.500
					Ho	Helio	164.9030
					Er	Erbio	167.29
					Tm	Thulio	169.9422
					Yb	Ytterbio	173.054
					Le	Lantano	174.9665
				**	Ac	Actinio	227
					Th	Thorano	232.077
					Pa	Protactinio	231.088
					U	Urano	238.0391
					Np	Neptunio	239
					Pu	Plutonio	244
					Am	Americio	243
					Cm	Curio	243
					Bk	Berkelio	243
					Cf	Cáfrio	244
					Es	Esferio	243
					Fm	Fermio	247
					Md	Móndio	251
					No	Noberto	250
					Lr	Lárnio	252

Metálicos

Alcalinos

Alcalinos-earths

Lantánidos

Actinoides

Transicionales

Post-transitionales

Postmetálicos

Halógenos

Other no metals

Tabla Periódica de los Elementos

Alkali metals

Alkaline earth metals

Lanthanides

Actinides

Transition metals

Poor metals

Metalloids

Nonmetals

Halogens

Noble gases

State at standard temperature and pressure

Atomic number in red: gas

Atomic number in blue: liquid

Atomic number in black: solid

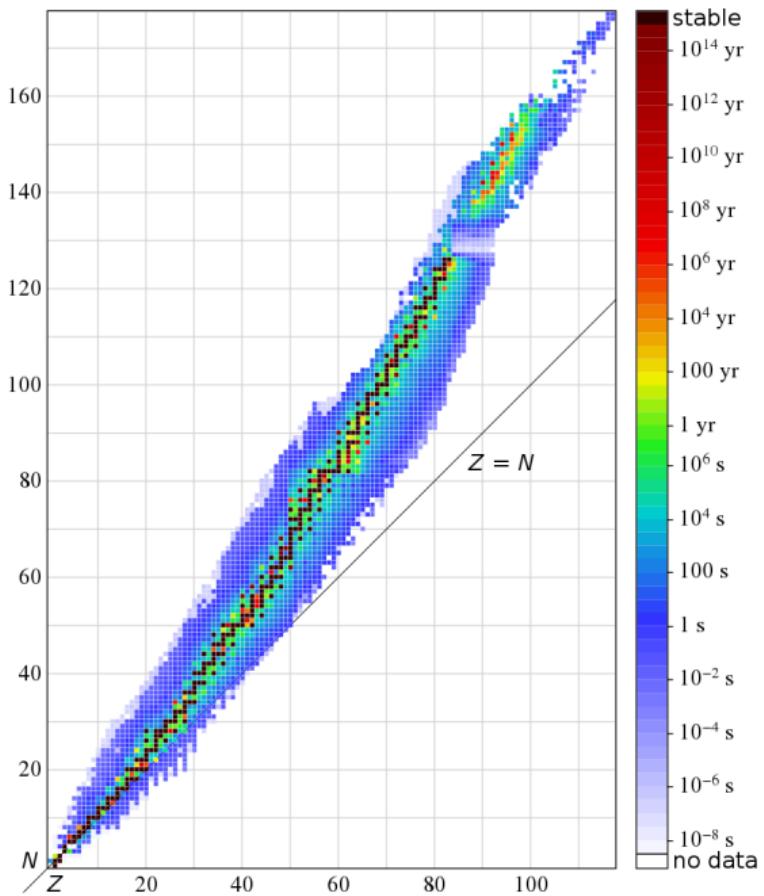
solid border: at least one isotope is older than the Earth (Primordial elements)

dashed border: at least one isotope naturally arise from decay of other chemical elements and no isotopes are older than the earth

dotted border: only artificially made isotopes (synthetic elements)

no border: undiscovered

Estabilidad de los Elementos: sus Isótopos y su Estabilidad



- Estabilidad de los isótopos
- Z : Número de protones
- N : Número de neutrones
- En color: Vida media del isótopo

Preguntas

En esta charla discutiremos las siguientes preguntas:

- ① ¿Son los electrones, protones y neutrones partículas fundamentales?
- ② ¿Cómo se generaron los átomos de la Tabla Periódica?
- ③ ¿Cómo fue la evolución posterior al Big Bang del la materia en el Universo?

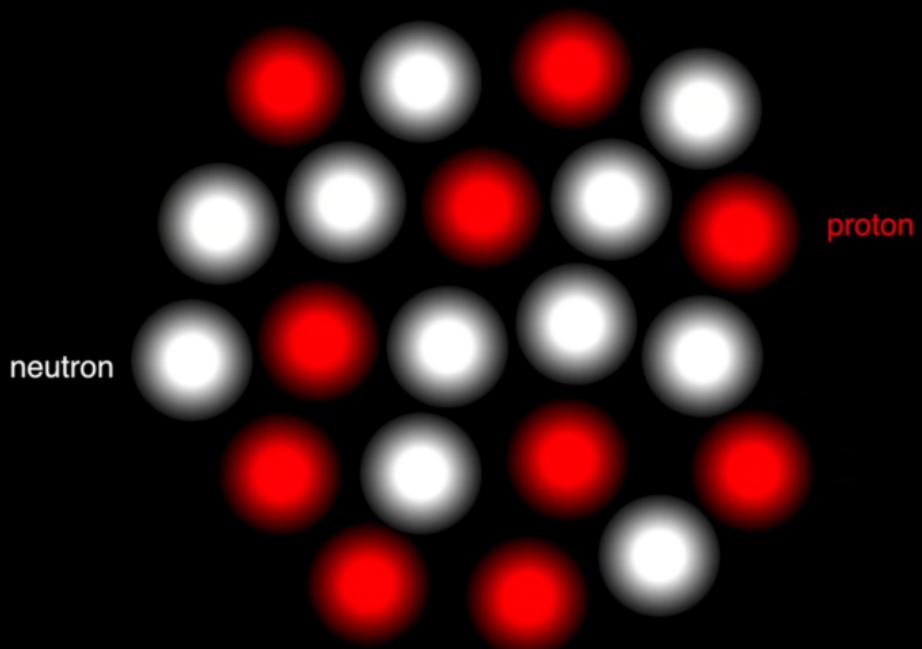
2. Partículas Elementales y el Modelo Estándar

Las Partículas Elementales

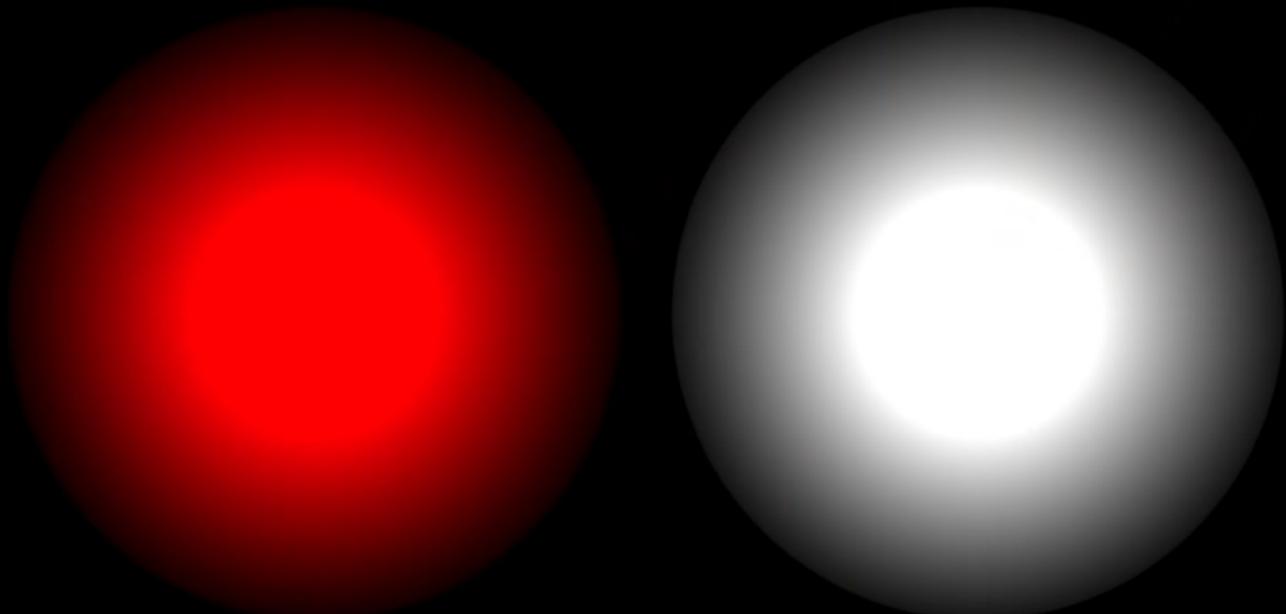
Introducción Histórica las Partículas Elementales

- 1897: Descubrimiento del Electrón por J.J. Thomson
- 1930': Descubrimiento que el Núcleo atómico está compuesto por dos tipos de partículas: Protones y Neutrones (~ 2.000 más masivos que el Electrón)
 - Todos los átomos están formados por electrones, protones y neutrones
- 1960': Descubrimiento que los Protones y Neutrones están compuestos de partículas más pequeñas: los Quarks
 - Todos los átomos están formados por electrones y quarks up y down!
- A partir de 1960' muchas más partículas elementales se han descubierto.
- Actualmente, las partículas elementales conforman el llamado Modelo Estándar de la física fundamental.

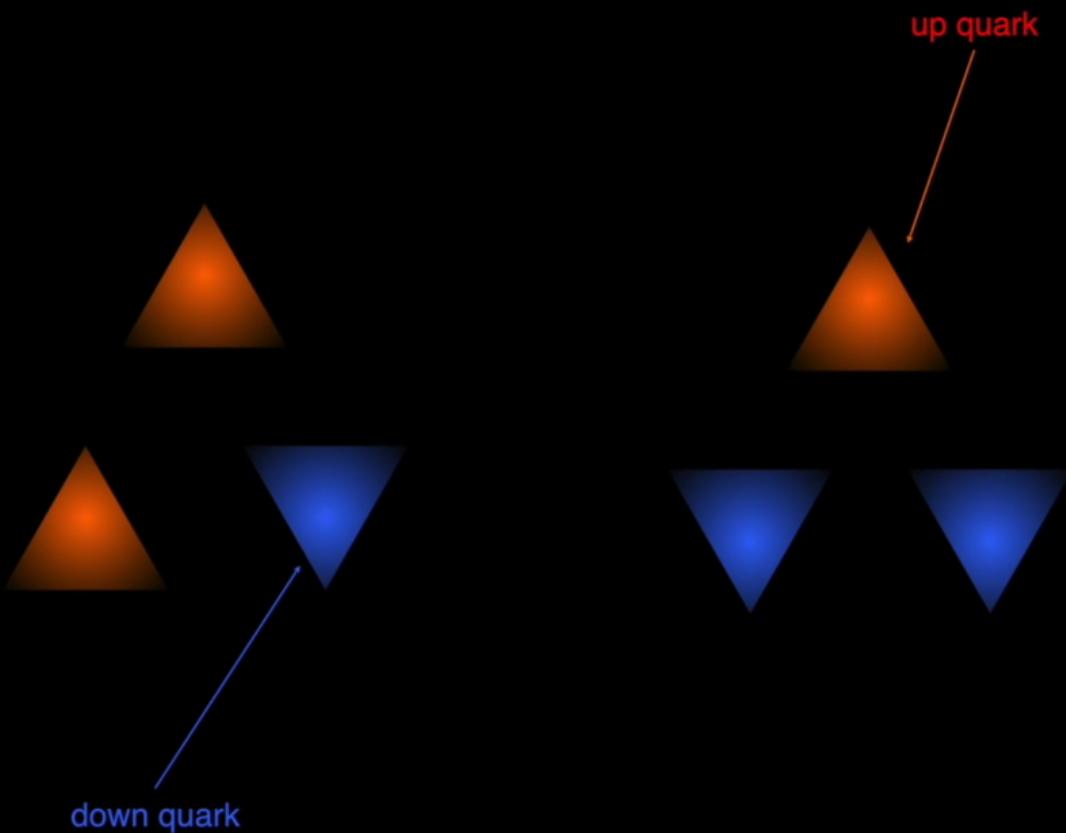
El Núcleo del Átomo está compuesto de Protones y Neutrones



Protón y Neutrón

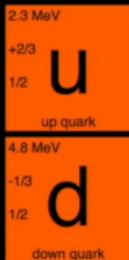


Protón y Neutrón: Compuestos por Quarks Up y Down



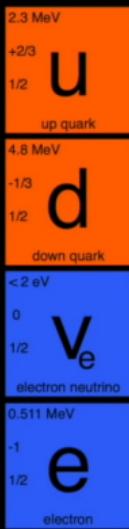
Los Atomos están compuestos de Electrones y Quarks Up y Down

The Standard Model



Materia Normal: Electrones, Neutrino y Quarks Up y Down

The Standard Model



Tres Generaciones de la Materia (Fermiones)

The Standard Model

2.3 MeV +2/3 1/2 up quark u	1.275 GeV +2/3 1/2 charm quark c	173.21 GeV +2/3 1/2 top quark t
4.8 MeV -1/3 1/2 down quark d	95 MeV -1/3 1/2 strange quark s	4.18 GeV -1/3 1/2 bottom quark b
< 2 eV 0 1/2 electron neutrino ν_e	< 0.17 MeV 0 1/2 muon neutrino ν_μ	< 18.2 MeV 0 1/2 tau neutrino ν_τ
0.511 MeV -1 1/2 electron e	105.7 MeV -1 1/2 muon μ	1776.8 MeV -1 1/2 tau τ

Fermiones (Leptones y Quarks) y Bosones (Partículas de Fuerza)

The Standard Model

2.3 MeV +2/3 1/2 up quark u	1.275 GeV +2/3 1/2 charm quark c	173.21 GeV +2/3 1/2 top quark t	0 0 1 gluons g
4.8 MeV -1/3 1/2 down quark d	95 MeV -1/3 1/2 strange quark s	4.18 GeV -1/3 1/2 bottom quark b	0 0 1 photon γ
< 2 eV 0 1/2 electron neutrino V_e	< 0.17 MeV 0 1/2 muon neutrino V_μ	< 18.2 MeV 0 1/2 tau neutrino V_τ	91.19 GeV 0 1 Z boson Z
0.511 MeV -1 1/2 electron e	105.7 MeV -1 1/2 muon μ	1776.8 MeV -1 1/2 tau τ	80.39 GeV ±1 1 W bosons W

Fermiones (Leptones y Quarks) y Bosones (Fuerza y Higgs)

The Standard Model

2.3 MeV +2/3 1/2 up quark u	1.275 GeV +2/3 1/2 charm quark c	173.21 GeV +2/3 1/2 top quark t	0 0 1 gluons g
4.8 MeV -1/3 1/2 down quark d	95 MeV -1/3 1/2 strange quark s	4.18 GeV -1/3 1/2 bottom quark b	0 0 1 photon γ
< 2 eV 0 1/2 electron neutrino V_e	< 0.17 MeV 0 1/2 muon neutrino V_μ	< 18.2 MeV 0 1/2 tau neutrino V_τ	91.19 GeV 0 1 Z boson Z
0.511 MeV -1 1/2 electron e	105.7 MeV -1 1/2 muon μ	1776.8 MeV -1 1/2 tau τ	80.39 GeV ±1 0 W bosons W
			125.7 GeV 0 0 Higgs boson H

2. Partículas Elementales y el Modelo Estándar

El Modelo Estándar

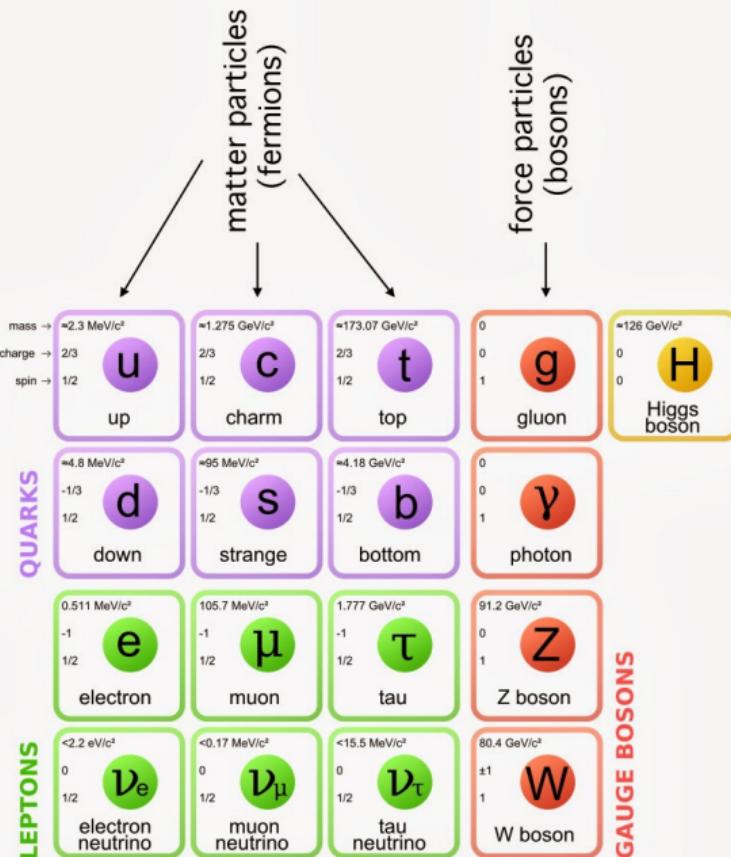
El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

2.3 MeV +2/3 1/2 up quark u	1.275 GeV +2/3 1/2 charm quark c	173.21 GeV +2/3 1/2 top quark t	0 0 1 gluons g
4.8 MeV -1/3 1/2 down quark d	95 MeV -1/3 1/2 strange quark s	4.18 GeV -1/3 1/2 bottom quark b	0 0 1 photon γ
< 2 eV 0 1/2 electron neutrino ν_e	< 0.17 MeV 0 1/2 muon neutrino ν_μ	< 18.2 MeV 0 1/2 tau neutrino ν_τ	91.19 GeV 0 1 Z boson Z
0.511 MeV -1 1/2 electron e	105.7 MeV -1 1/2 muon μ	1776.8 MeV -1 1/2 tau τ	80.39 GeV ±1 1 W bosons W
			125.7 GeV 0 0 Higgs boson H

El Universo:

- Está compuesto de 12 partículas que componen la materia (leptones y quarks).
- Interaccionando a través de 3 fuerzas (electromagnética, fuerte y débil).
- Más una cuarta fuerza, la gravitacional, fuera del modelo estándar.
- Todo cohesionado por un campo especial llamado campo/bosón de Higgs

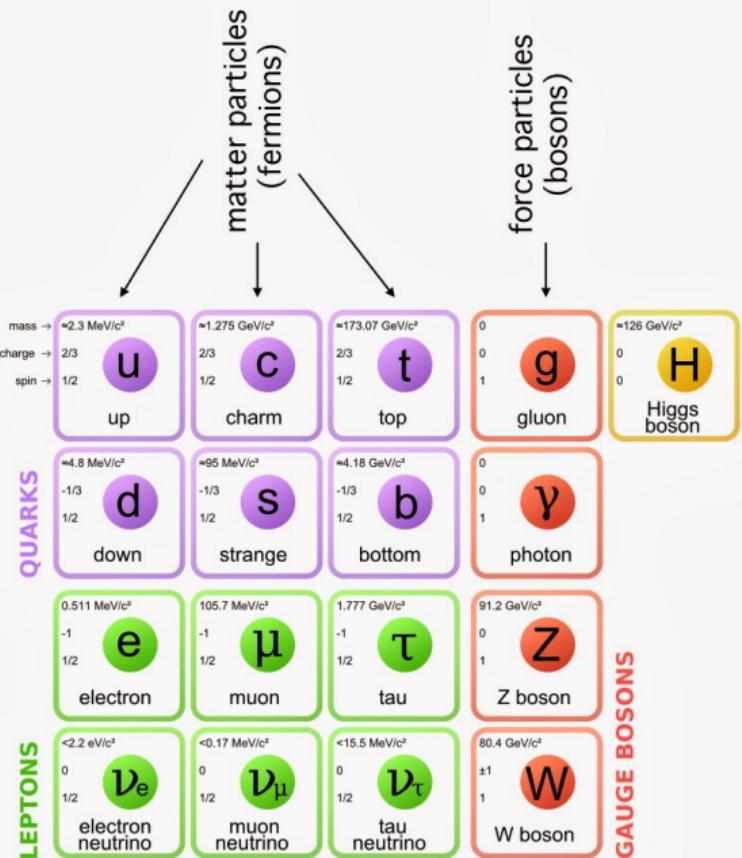
El Modelo Estándar de las Partículas Elementales



El Universo:

- 1 **Bosones (Partículas de las Fuerzas/Iteraciones)**
 - Interaccionando a través de 3 fuerzas (electromagnética, fuerte y débil).
 - Más una cuarta fuerza, la gravitacional, fuera del modelo estándar. Son bosones.
 - Todo cohesionado por un campo especial llamado campo/bosón de Higgs
- 2 **Fermiones (Partículas de la Materia; los fermiones deben obedecer el Principio de Exclusión de Pauli)**
 - Está compuesto de 12 partículas que componen la materia (leptones y quarks). Son fermiones
- 3 **Fermiones (Partículas de la Anti-materia)**
 - Compuesto de 12 partículas equivalentes a los fermiones de la materia, pero con carga opuesta (pero igual espín y masa)

El Modelo Estándar de las Partículas Elementales



El Modelo Estándar es Incompleto:

- 1 El gravitón no está integrado!
- 2 No incluye las partículas de la materia oscura (que componen el 95% de la materia del Universo)!

El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

Elementary particles									
12 fermions					Electric charge				
6 quarks					5 Bosons				
6 leptons					strong nuclear force				
g gluon					electromagnetic force				
d down quark					W⁺ W ⁺ boson				
s strange quark					W⁻ W ⁻ boson				
b bottom quark					Z⁰ Z boson				
0					weak nuclear force				
H Higgs boson					electro-weak symmetry breaking				
Outside the standard model					graviton				
3 generations of matter									

Hadrons are made out of fermions.

Baryons

Proton Neutron

Mesons

Pion π^+ Pion π^-

Λ
 Σ^+ some baryons
 Σ^- Ω
 Σ^0

K^+
 D^- some mesons
 π^- B^0
 π^0

Antimatter: All particles have an antiparticle with the opposite charge.

\bar{u}

Antiquark

$\bar{u} \bar{u} \bar{d}$

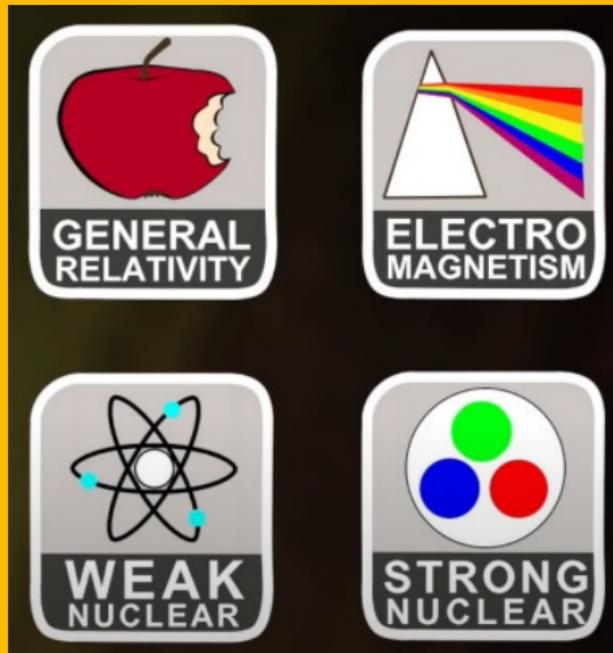
Antiproton

$\bar{\nu}_e$

Antineutrino

2. Partículas Elementales y el Modelo Estándar

Las 4 "Fuerzas" Fundamentales de la Naturaleza



Fuerza Electromagnética y el Fotón

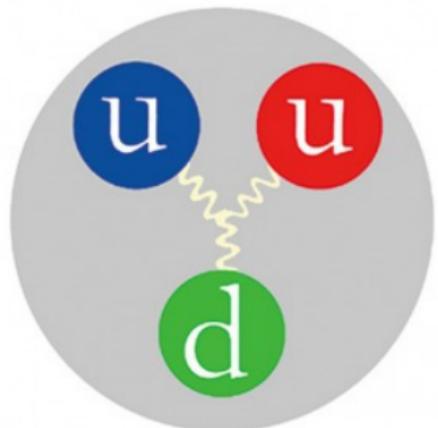


- Una de las 4 fuerzas fundamentales
- También llamada **interacción electromagnética**
- La partícula que transmite la interacción electromagnética es el fotón: es su bosón asociado.
- Los fotones no tienen masa
- Puede ser atractiva o repulsiva dependiendo de la carga de la partícula
- La fuerza electromagnética actúa sobre todos los fermiones (quarks y leptones), excepto en los neutrinos (electrón, muón y tau)
- La fuerza electromagnética es responsable de:
 - Que electrones sean atraídos a los núcleos de los átomos
 - Que los átomos se unan para formar moléculas
 - Es responsable de la química

Fuerza Nuclear Fuerte y el Gluón



- Una de las 4 fuerzas fundamentales
- También llamada **interacción fuerte**
- Actúa solo los fermiones fundamentales de tipo Quark y no en Leptones
- El gluón "pega" los quarks!
- Es la fuerza que une los quarks que forman el protón y el neutrón
- Es responsable de la fisión nuclear (provee la energía que se libera al fisionar un átomo pesado)
- Es aproximadamente 1.000 veces más fuerte que la fuerza electromagnética.

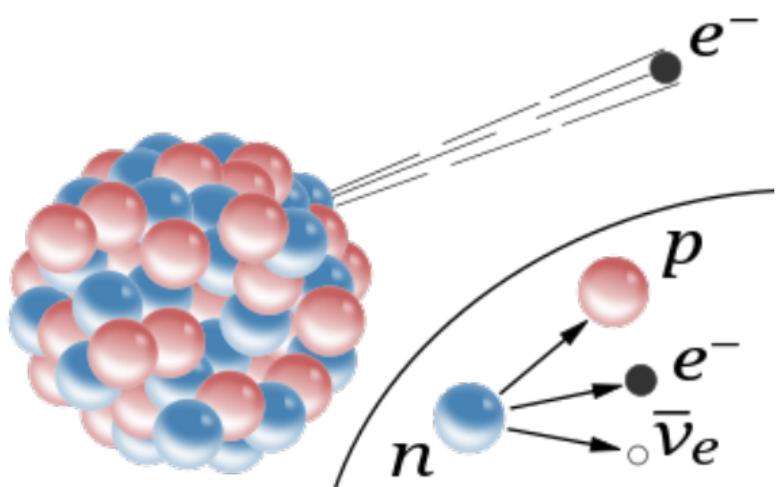


Fuerza Nuclear Débil y los Bosones W y Z



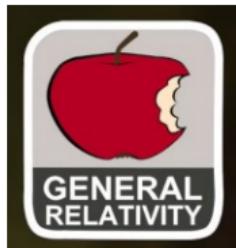
- Una de las 4 fuerzas fundamentales
- También llamada **interacción débil** (dado que su acción es muy acotada, es más apropiado hablar de "interacción" que de "fuerza")
- Es $1/100.000$ veces más débil que la fuerza fuerte
- Es $1/1.000$ veces más débil que la fuerza electromagnética
- Actúa en todos los fermiones fundamentales: Quarks y Leptones
- La interacción débil es mediada por los bosones W y Z
- Los bosones responsables de la interacción tienen masa

Fuerza Nuclear Débil y los Bosones W y Z



- La fuerza débil permite a los quarks cambiar de identidad (por ejemplo un neutrón se convierte en un protón emitiendo un fotón y un anti-neutrino, el llamado "decaimiento beta")
- Responsable del decaimiento de las partículas elementales
 - Ocurre típicamente durante el decaimiento radioactivo de átomos.
 - Si no existiese la fuerza débil, el Sol no podría fusionar Hidrógeno en Helio y por lo tanto producir energía!
 - La fuerza débil es también responsable que todas las partículas de 2da y 3ra generación decaigan para formar partículas de la 1ra generación (estable).

Fuerza Gravitatoria y el Gravitón



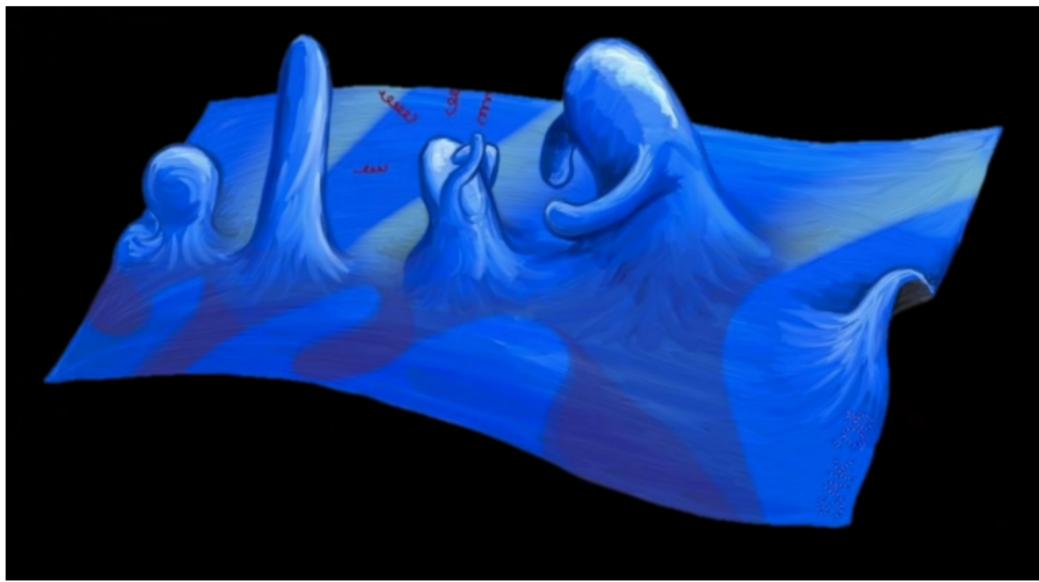
- Una de las 4 fuerzas fundamentales
- Actúa en todos los fermiones y bosones que poseen masa
- La interacción es débil y está mediada por una partícula hipotética llamada gravitón
- Estrictamente hablando, el gravitón no forma parte del modelo estándar de las partículas fundamentales.
 - Es tan débil que prácticamente no tiene efecto sobre una partícula elemental.
 - No se conoce una manera de introducir la teoría de la relatividad general en la mecánica cuántica.

2. Partículas Elementales y el Modelo Estándar

El Mecanismo de Higgs y la Masa de las Partículas Elementales

El Campos Asociados a las Partículas Elementales

- Para cada una de las 4 fuerzas fundamentales descriptas, hay un campo de fuerza asociado.
- También los leptones y quarks tienen un campo asociado!
- Las partículas que median las iteraciones fundamentales son pequeñas perturbaciones, ondas o "rizos" en el correspondiente campo



- Lo fundamental son los campos de fuerza/interacción y no las partículas (bosones)

El Mecanismo de Higgs: el Campo y el Bosón de Higgs

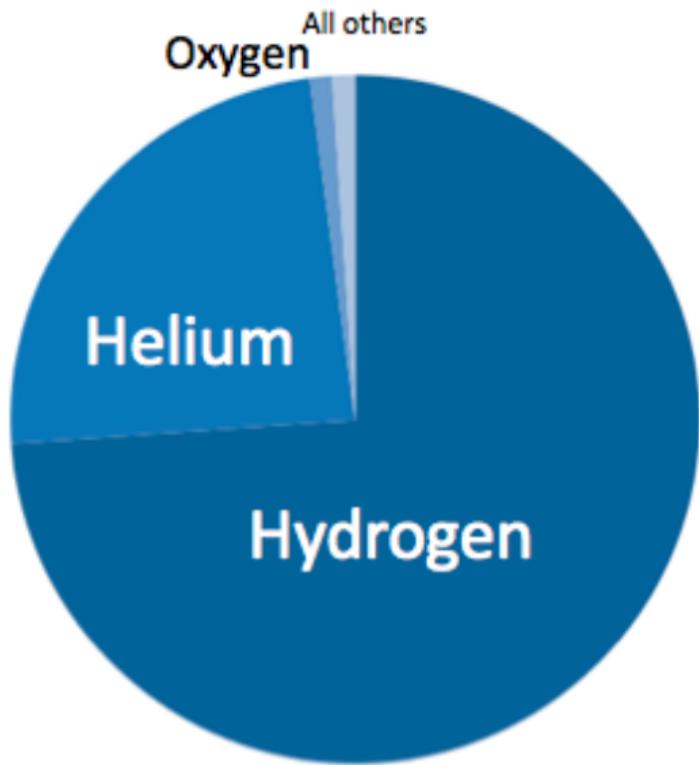
- Además de los cuatro campos ya descriptos hay un quinto campo que es el responsable en que las partículas fundamentales tengan masa.
- Se puede pensar el campo de Higgs como una "sustancia" que permea todo del espacio que "dificulta" el movimiento de algunas partículas elementales (las que tiene masa).
 - Eg: El electrón no tiene masa pero al interactuar con el campo de Higgs adquiere masa.
- El campo de Higgs puede ser perturbado para genera su parícula asociada: el Bosón de Higgs
- El Bosón de Higgs fue descubierto en 2012 en el LHC del CERN.
- El mecanismo de Higgs es fundamental para el modelo estándar de partículas elementales.

3. Origen de los Elementos

3. Origen de los Elementos

Composición Actual del Universo

Composición de la masa actual de la materia del universo

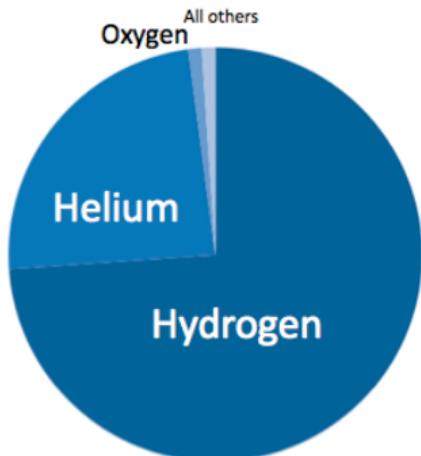


La masa actual de la materia del universo está compuesta de:

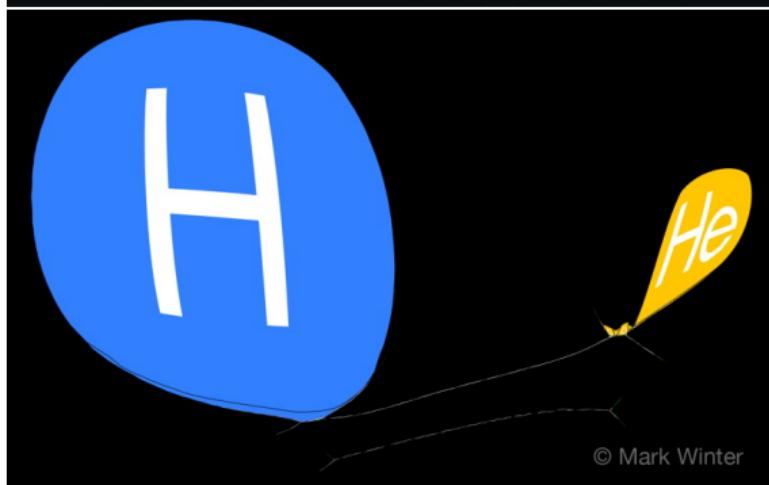
- 73% de Hidrógeno
- 24% de Helio
- 1% de Oxígeno
- El resto de los elementos de la tabla periódica suman solo el 1%

Composición de la materia del universo

Elements In the Universe

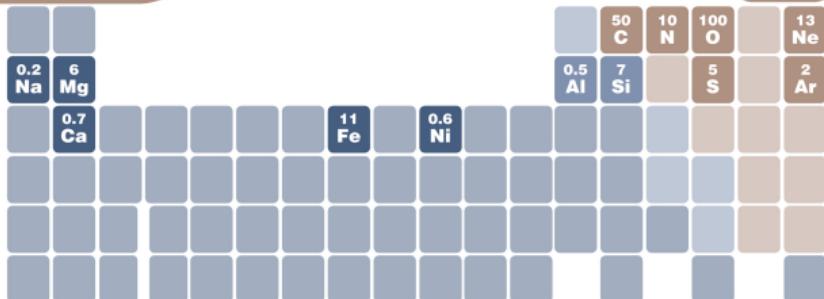
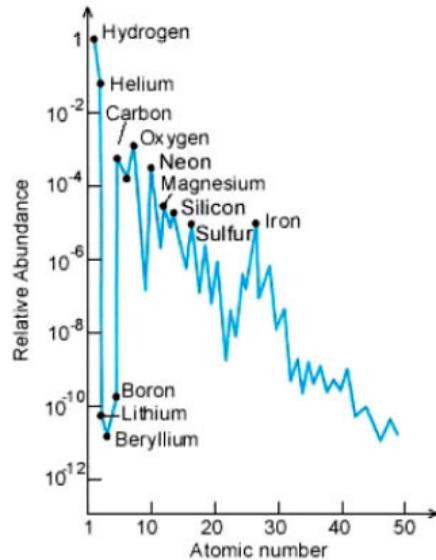


1 H 1.008	2 He 4.0026
3 Li 6.94	4 Be 9.0122
11 Na 22.990	12 Mg 24.305
19 K 39.098	20 Ca 40.078
37 Rb 85.468	38 Sr 87.62
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33
87 Fr 223.02	88 Ra 228.03
5 La 138.91	58 Ce 140.12
89 Ac 227.03	90 Th 232.04
59 Pr 140.91	91 Pa 231.04
60 Nd 144.24	92 U 238.03
61 Pm (144.91)	93 Np (237.05)
62 Sm 150.36	94 Pu (244.06)
63 Eu 151.96	95 Am (243.06)
64 Gd 157.25	96 Cm (247.07)
65 Tb 158.93	97 Bk (247.07)
66 Dy 162.50	98 Cf (251.06)
67 Ho 164.93	99 Es (252.06)
68 Er 167.26	100 Fm (257.10)
69 Tm 168.93	101 Md (258.10)
70 Yb 173.05	102 No (259.10)



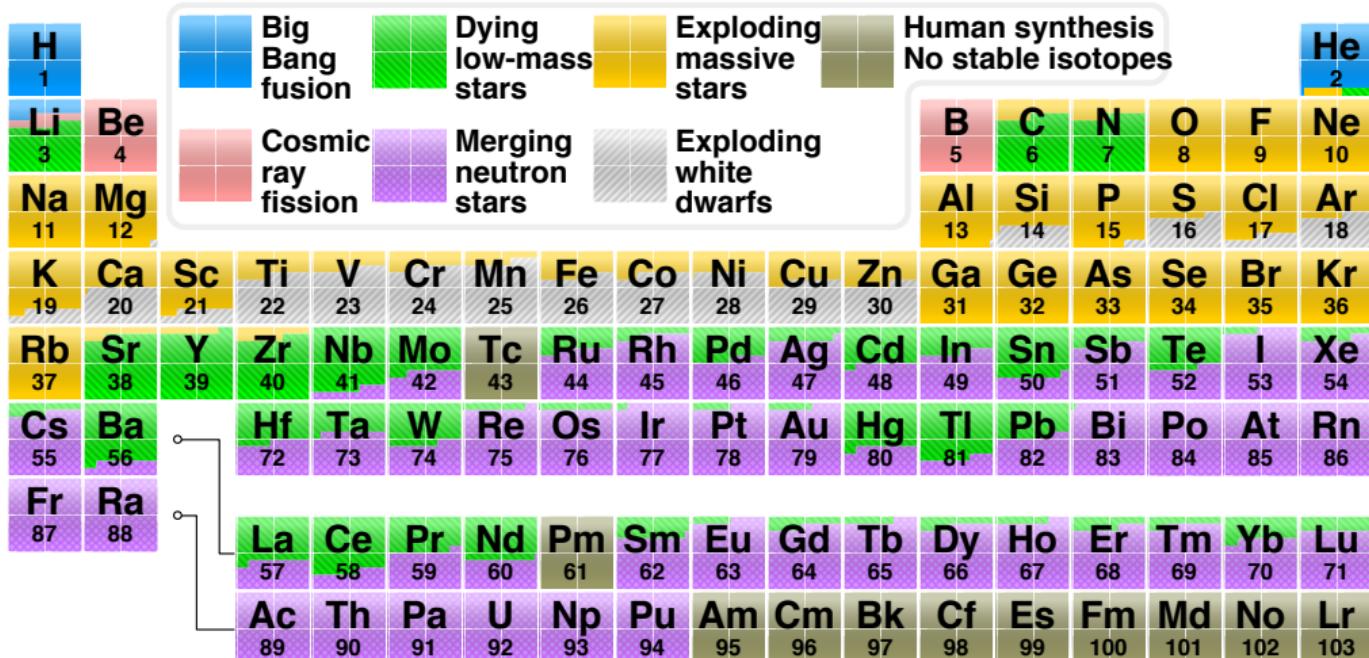
© Mark Winter

Composición de la materia del universo



- Se puede afirmar que el universo está compuesto casi exclusivamente de Hidrógeno y Helio
- El resto de los elementos, es sin embargo, importante para la vida y demás "detalles" del universo
- ¿De dónde provienen los elementos mas pesados que el Hidrógeno y el Helio?

Origen de los Elementos presentes en el Universo



La generación de átomos se llama Nucleosíntesis

- ① Nucleosíntesis original: resultado del Big Bang
- ② Nucleosíntesis posterior: elementos generados dentro de estrellas, durante la muerte de estrellas, etc.

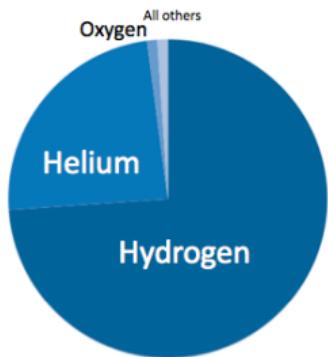
3. Origen de los Elementos

Nucleosíntesis del Big Bang

Nucleosíntesis del Big Bang

- Nucleosíntesis primordial duró sólo unos tres minutos (durante el periodo entre 100 y 300 segundos del inicio de la expansión del espacio)
- En este breve tiempo se generaron:
 - 1 75% de Hidrógeno (H) (y 0.01% de Deuterio, un isótopo del Hidrógeno)
 - 2 25% de Helio (He)
 - 3 Cantidades casi insignificantes Litio (Li) y Berilio (Be)
 - 4 y nada de otros elementos!

Elements In the Universe



Periodic Table Right after
the Big Bang:

1 H Hydrogen	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium

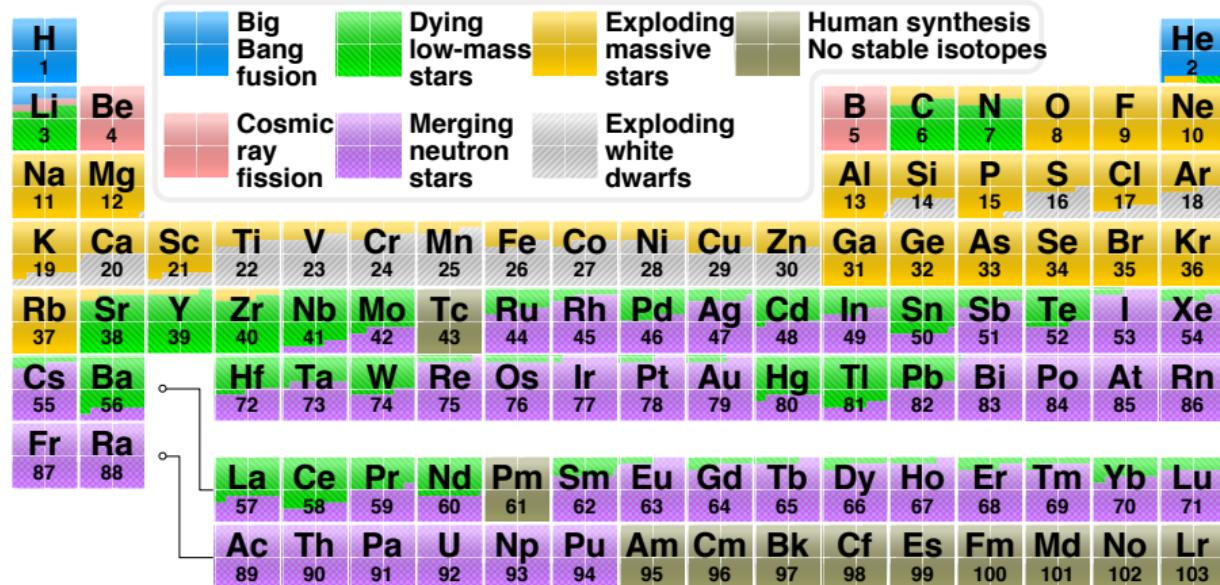
Periodic Table Now:

A detailed periodic table showing the current known elements. It includes the first two columns of the p-block (Boron to Francium) and the entire d-block (Lanthanides to Actinides). The table highlights several groups in green: the alkali metals (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), the alkaline earth metals (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra), the halogens (F, Cl, Br, I, At), and the noble gases (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn). Other elements are color-coded in blue, red, and purple.

3. Origen de los Elementos

Nucleosíntesis posterior al Big Bang

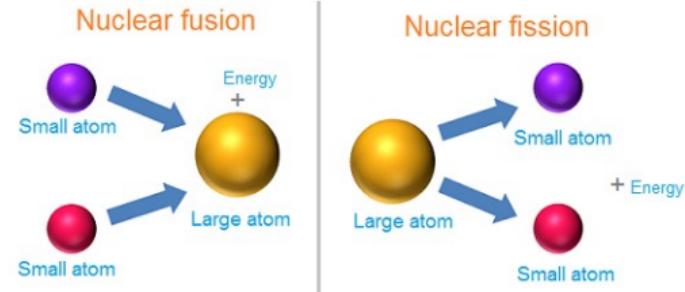
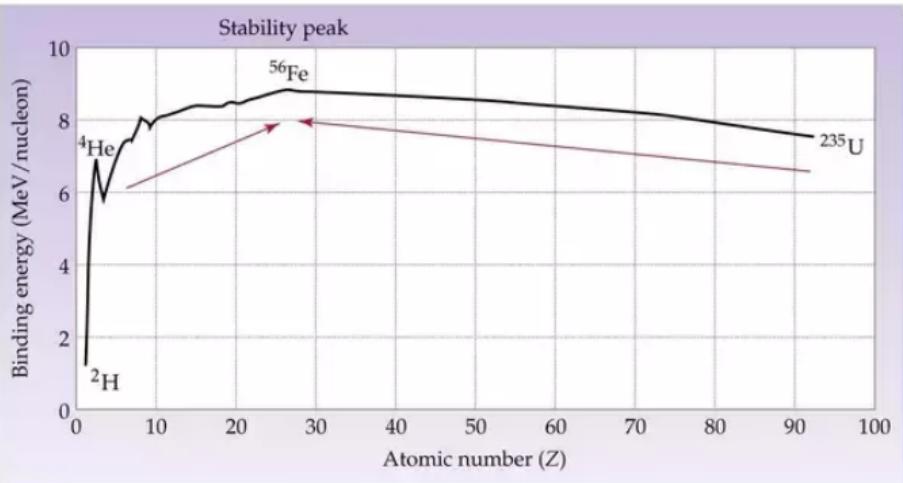
Nucleosíntesis Posterior al Big Bang



Los elementos mas pesados que H y He se han producido por:

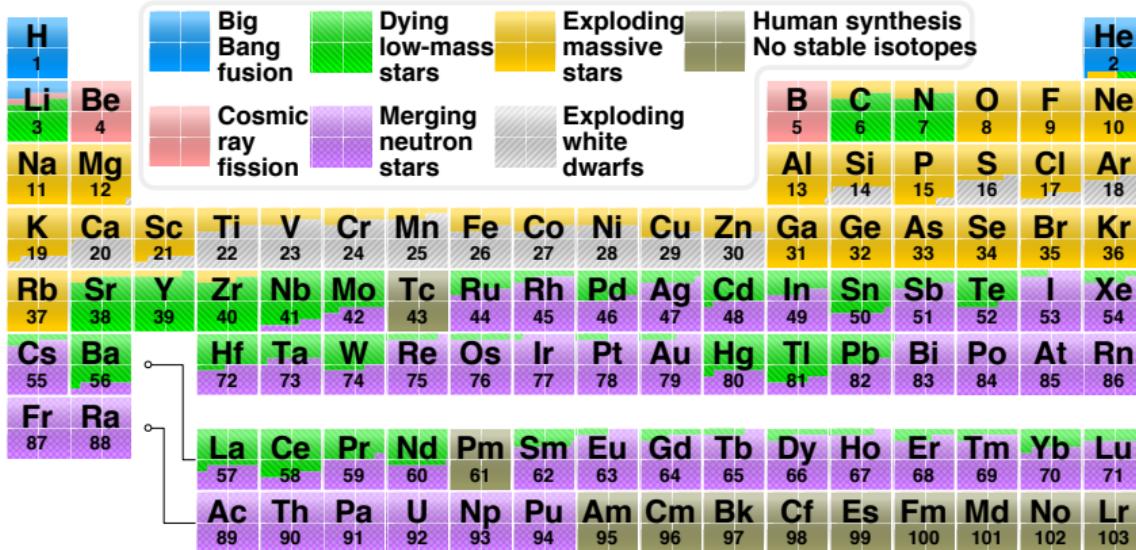
- Durante la vida "normal" de una estrella
- Durante una explosión de supernova y de enanas blancas
- Fusión de dos estrellas de neutrones
- Durante el choque entre rayos cósmicos (partículas muy energéticas) átomos pesados se fisionan para producir: Li, Be y B

Energía producida al unir o partir un átomo



- En átomos pequeños (entre H y Fe) se produce energía al unir dos átomos pequeños (fusión): núcleo liviano + núcleo liviano = núcleo más pesado + energía
- En átomos grandes (entre Fe y U) se produce energía al partir un átomo (fisión): núcleo pesado = núcleo más liviano + núcleo más liviano + energía

Origen de los elementos más pesados: Fusión en Estrellas



- La **fusión** que lleva a cabo una estrella durante su vida "normal" produce elementos **desde C hasta Fe**
 - Las estrellas como el sol o mas pequeñas producen: He, C, N, O, Ne, S
 - Estrellas mas grandes que el sol pueden producir He y desde C hasta Fe.
- Durante la vida de estrellas masivas se pueden generar algunos elementos más pesados que el Fe gracias a la **captura de neutrones** (y posterior decaimiento del neutrón en un protón)

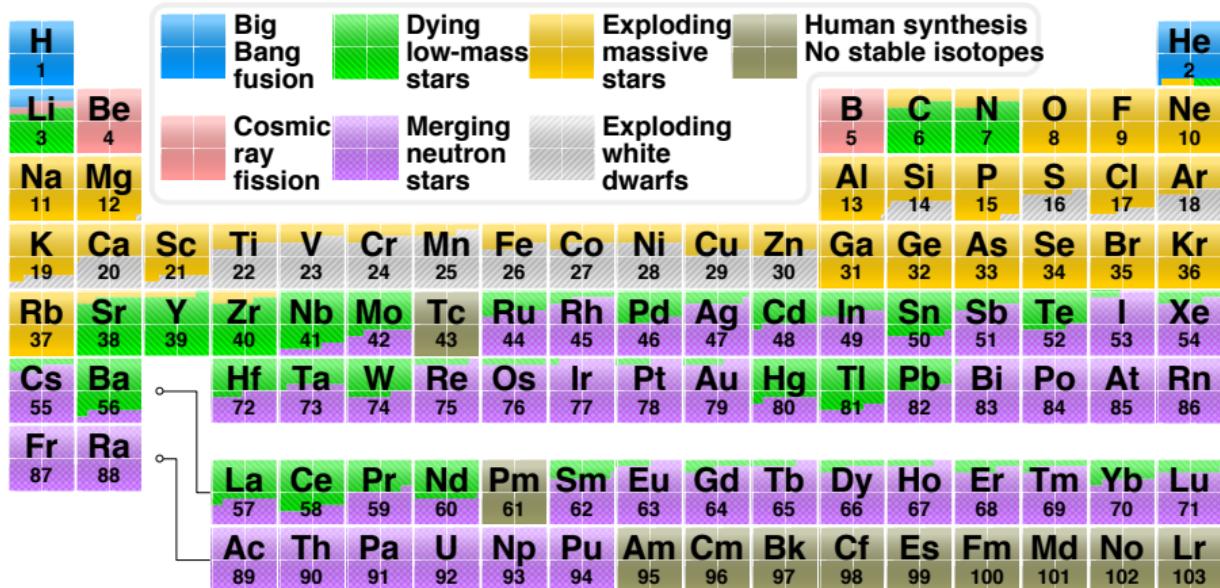
Origen de los elementos más pesados: Fusión en Estrellas

1 1 Hydrogen 1.008	2 2 Helium 4.012	18 2 Helium 4.003
3 3 Lithium 6.941	4 4 Boron 9.012	
11 11 Métaluminio 22.990	12 12 Métaluminio 24.305	
19 19 Cálcium 40.098	20 20 Magnesio 40.078	
37 Rb Rubidio 85.468	38 Sr Strontio 87.62	
55 Cs Cesio 132.905	56 Ba Bario 137.328	57-71 Lanthanoids
87 Fr Francio 223.020	88-103 Actinoids	
57 La Lantánio 138.905	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.908
60 Nd Neodimio 144.243	61 Pm Prometnio 144.913	62 Sm Samario 150.36
63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolino 157.25	65 Tb Terbio 158.925
66 Dy Díprosio 162.500	67 Ho Holmeio 164.930	68 Er Erbio 167.259
69 Tm Tulio 168.934	70 Yb Ytterbio 173.055	71 Lu Lutecio 174.967
89 Ac Actinio 227.029	90 Th Thorio 232.038	91 Pa Protactinio 231.036
92 U Urano 238.029	93 Np Neptunio 237.048	94 Pu Plutonio 244.064
95 Am Americio 243.961	96 Cm Curiose 247.070	97 Bk Berkerio 247.970
98 Cf Californio 251.080	99 Es Einstenio 254	100 Fm Fermio 257.095
101 Md Mendelio 258.1	102 No Nobelio 259.101	103 Lr Lawrencio 262

26 Fe

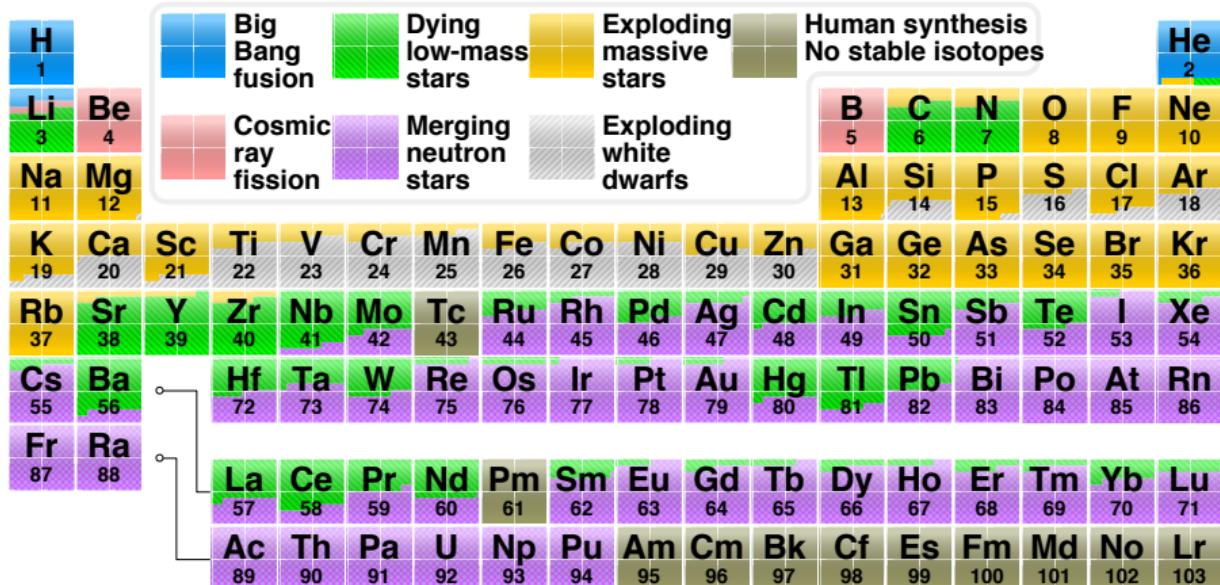
57 La Lantánio 138.905	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.908	60 Nd Neodimio 144.243	61 Pm Prometnio 144.913	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolino 157.25	65 Tb Terbio 158.925	66 Dy Díprosio 162.500	67 Ho Holmeio 164.930	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tulio 168.934	70 Yb Ytterbio 173.055	71 Lu Lutecio 174.967
89 Ac Actinio 227.029	90 Th Thorio 232.038	91 Pa Protactinio 231.036	92 U Urano 238.029	93 Np Neptunio 237.048	94 Pu Plutonio 244.064	95 Am Americio 243.961	96 Cm Curiose 247.070	97 Bk Berkerio 247.970	98 Cf Californio 251.080	99 Es Einstenio 254	100 Fm Fermio 257.095	101 Md Mendelio 258.1	102 No Nobelio 259.101	103 Lr Lawrencio 262

Origen de los elementos más pesados: Colisión con Rayos Cósmicos



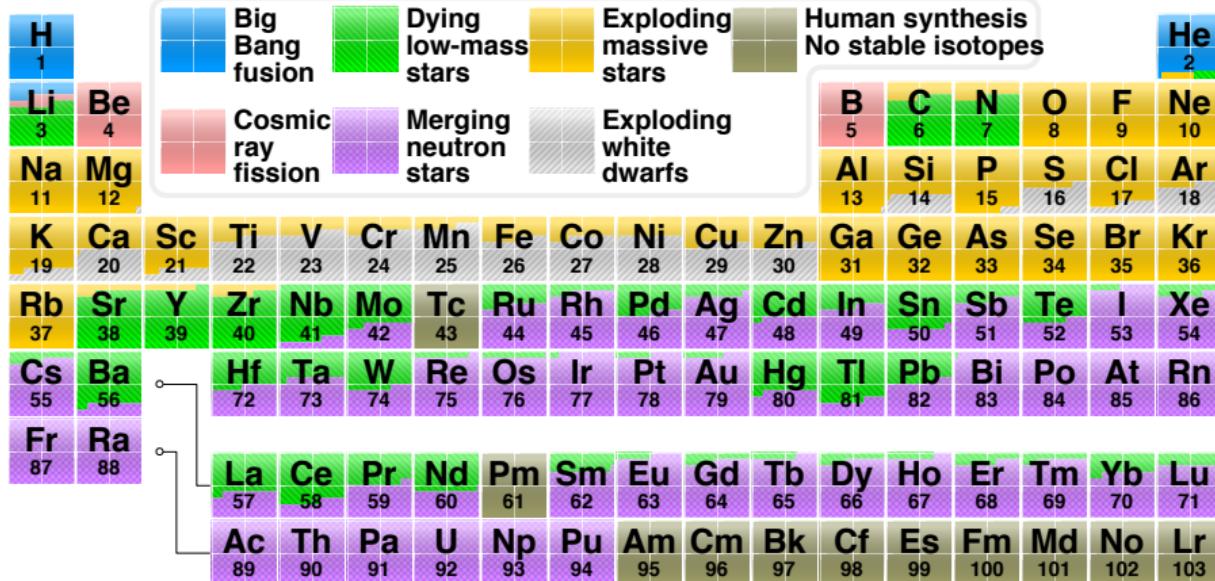
- Durante el choque entre rayos cósmicos (partículas muy energéticas) átomos pesados se fisionan para producir: Li, Be y B

Origen de los elementos más pesados: Supernovas



- Durante una explosión supernova se producen muchos de los elementos pesados
- Los elementos mas pesados que el Uranio U, solo han sido producidos en nuestro planeta por el hombre.

Origen de los elementos más pesados: Unión de Estrellas de Neutrinos



- La mayoría de los elementos pesados se producen cuando dos estrellas de neutrones chocan.
- El mecanismo por el cual se producen los átomos pesados es el llamado **captura de neutrones rápida**.

Origen de los elementos más pesados: Estrellas de Neutrones

57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.243	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Dy Dysprosium 168.925	66 Ho Holmium 164.530	67 Er Erbium 161.259	68 Tb Thulium 160.934	69 Dy Dysprosium 161.055	70 Yb Ytterbium 161.967	71 Lu Lutetium 144.967
89 Ac Actinium 221.028	90 Th Thorium 222.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 Ra Radium 228.029	93 Fr Francium 223.048	94 Ra Radium 224.064	95 Ac Actinium 224.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080 [254]	99 Es Einsteinium 257.095	100 Fm Fermium 258.1	101 Md Mendelevium 259.101	102 No Nobelium [262]	103 Lr Lawrencium [262]

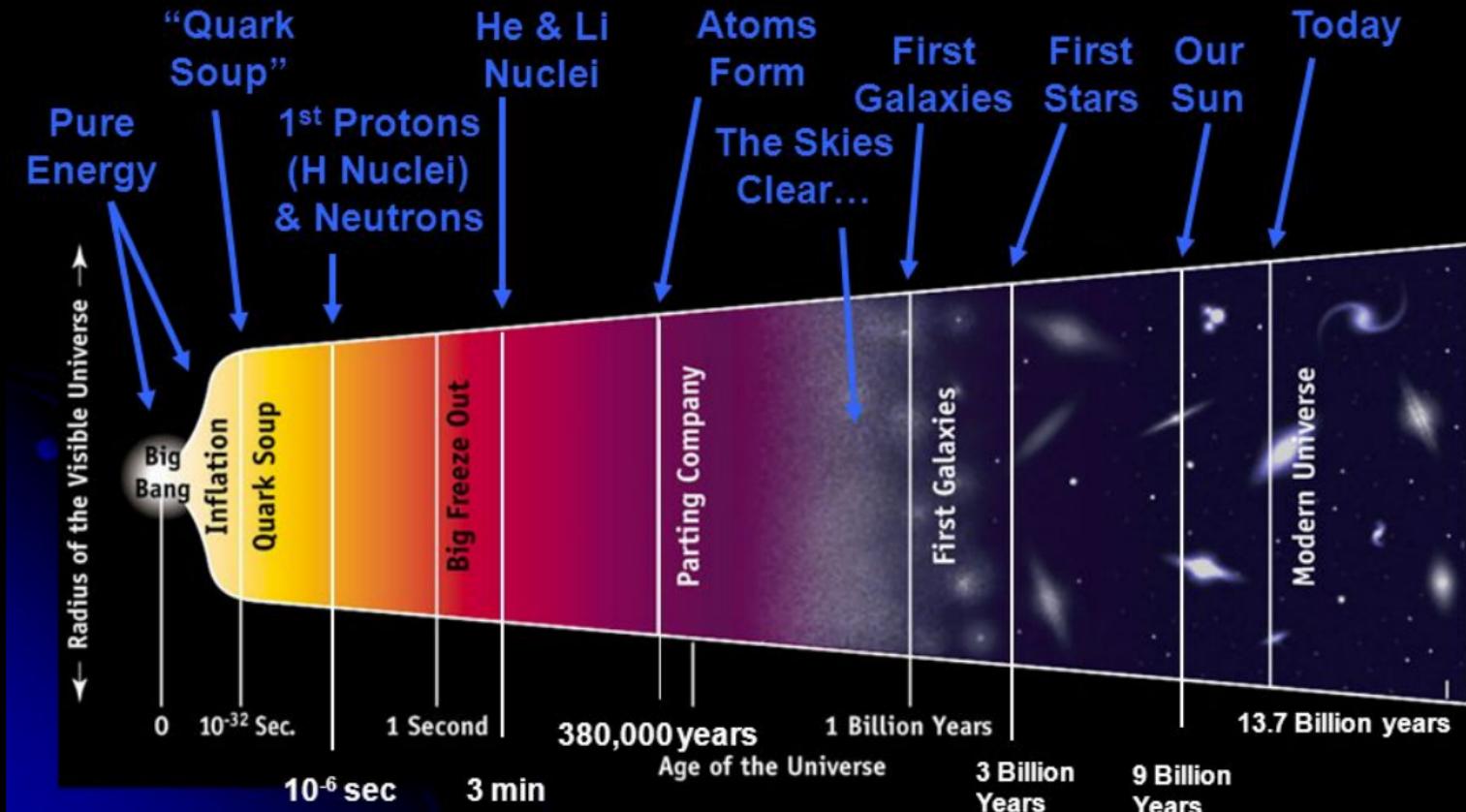
Origen de los elementos más pesados: Estrellas de Neutrones

1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 9.012	3 Li Lithium 6.941	4 Be Boron 9.012	5 B Boron 10.811	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 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948	
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sr Strontium 44.556	22 Ba Barium 55.876	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.96	25 Mn Manganese 54.938	26 Tc Technetium 98.907	27 Ru Ruthenium 101.07	28 Rh Rhodium 102.906	29 Pd Palladium 106.42	30 Ag Silver 107.868	31 Cd Cadmium 115.23	32 Ge Germanium 72.631	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.071	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.788	
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Yt Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sb Antimony 116.011	51 Te Tellurium 127.660	52 Po Polonium 147.5	53 At Astatine 126.904	54 Xe Xenon 131.293	
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 132.328	Lanthanoids		57-71 La Lanthanum 178.49	72 Hf Hafnium 180.948	73 Ta Tantalum 183.84	74 W Tungsten 186.207	75 Re Rhenium 190.23	76 Os Osmium 192.217	77 Ir Iridium 195.085	78 Pt Platinum 196.967	79 Au Gold 200.592	80 Hg Mercury 204.383	81 Tl Thallium 207.2	82 Pb Lead 208.580	83 Bi Bismuth 208.582	84 Po Polonium 209.987	85 At Astatine 222.018
86 Fr Francium 223.020	87 Ra Radium 226.025	Actinoids		88-103 Ra Radium [261]	104 Pa Protactinium [262]	105 U Uranium [264]	106 S Thorium [265]	107 N Neptunium [269]	108 M Mimeticum [270]	109 D Darmstadtium [281]	110 R Roentgenium [280]	111 O Oganesson [285]	112 P Copernicium [286]	113 Nh Nhastium [289]	114 Ts Tsotoniium [290]	115 Mt Meitnerium [293]	116 Rg Rutherfordium [294]	117 Nh Nhastium [294]

57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.243	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.954	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Dy Dysprosium 168.925	66 Ho Holmium 172.500	67 Er Erbium 174.930	68 Tb Thulium 170.259	69 Yb Ytterbium 168.934	70 Lu Lutetium 173.055	71 Hf Hafnium 174.967
88 Ac Actinium 221.028	90 Th Thorium 222.038	91 Pa Protactinium 223.036	92 Ra Radium 228.029	93 Nh Neptunium 232.048	94 Fr Francium 244.064	95 Ra Radium 243.061	96 Nh Neptunium 247.070	97 Fr Francium 247.070	98 Ra Radium 251.080	99 Nh Neptunium (254)	100 Fr Francium 257.095	101 Ra Radium 258.1	102 Nh Neptunium 259.101	103 Fr Francium 262

4. Evolución del Universo y la Materia

Evolución del la Materia del Universo



Evolución del la Materia del Universo

