

Modelos Atómicos y Estructura **Atómica**

Evolución desde las primeras
ideas (500 años.ac), hasta el modelo actual, (2013).

Nivel básico

Ing. Arturo Gustavo Tajani

La química nos enseña que existen en la naturaleza básicamente, 92 “sustancias simples” o “elementos” y un gran número de “sustancias compuestas”.

Siempre preocupó la idea de cual sería la “naturaleza íntima” de las sustancias.

Precisamente fue el filósofo griego **Leucipo** (-500; ?) y su discípulo **Demócrito** (-460; -370), quienes por primera vez imaginaron a todo lo existente, como compuesto por partículas **“muy pequeñas no divisibles”**, que les llamaron átomos.

Etimológicamente la palabra **“átomo”**, proviene del griego **“a tomos”**, que significa **“no divisible”**.

Actualmente la división del átomo, es conseguida con métodos físicos avanzados, pero al dividirlo, desaparecen las propiedades químicas del elemento original. No obstante, aunque su significado sea lo contrario, se conserva el nombre primitivo.

Modelo atómico:

Un **modelo atómico** es una representación estructural de un átomo, que trata de explicar su comportamiento y propiedades.

De ninguna manera debe ser interpretado como el “dibujo” de un átomo, sino más bien como el “diagrama conceptual” de su funcionamiento.

A lo largo del tiempo existieron varios modelos atómicos, algunos más elaborados que otros, debidos a Demócrito, Dalton, Thomson, Perrin, Rutherford, Bohr, Sommerfeld, Schrödinger y Dirac y Jordan.

Finalmente trataremos de presentar el modelo actual conocido como:

“Modelo Estandar”.

Podemos entonces definir actualmente al átomo como la parte mas pequeña imaginable, de un elemento o sustancia simple, que conserve las propiedades químicas del mismo.

Alrededor de 400 a.A.C. - Modelo atómico de Demócrito.

El primer modelo atómico, como ya se mencionó, fue postulado por el filósofo y matemático griego Demócrito.

No tenía ninguna imagen concreta, sino que solo era una idea conceptual: **“lo que es” (átomos) y “lo que no es” (vacío)**. Entre las afirmaciones básicas decía que:

“Los átomos son eternos, indivisibles, homogéneos, incompresibles e invisibles; los átomos se diferencian solo en forma y tamaño, pero no por cualidades internas; las propiedades de la materia varían según el agrupamiento de los átomos”.

Se oponía a la idea muy antigua, pero generalizada por el filósofo Sócrates (-469; -399), de los cuatro elementos básicos: *“tierra, agua, aire y fuego”*, ideas que perduraron a través de la Edad Media y hasta el Renacimiento.

1808 - Modelo atómico de John Dalton.

Nunca en la historia se esbozó siquiera una idea respecto de la supuesta conformación o naturaleza del átomo (ni aún los alquimistas de la edad media).

Recién hacia el año 1808 el químico inglés **John Dalton** (1766-1844), postuló el primer modelo atómico con bases científicas, ya que surgió apoyándose en experimentaciones químicas bien fundamentadas:

Toda la materia se podía dividir en dos grandes grupos: *los elementos y los compuestos*. Los elementos estarían constituidos por unidades fundamentales, que en honor a Demócrito, Dalton denominó átomos.



Los compuestos se conformarían por moléculas, cuya estructura viene dada por la unión de átomos en *proporciones definidas y constantes*. De esto surgió la idea del **“Peso atómico químico”**.

La teoría de Dalton seguía considerando el hecho de que los átomos eran partículas indivisibles. Pero nada se dijo sobre su naturaleza íntima o su estructura.

En 1808 Gay-Lussac (frances;1778-1850), en 1811 Avogadro (italiano; 1776-1856) y en 1833 Faraday (inglés; 1791-1867), contribuyeron con diferentes experiencias y teorías a afianzar la idea del átomo macizo de Dalton, que permaneció vigente prácticamente durante todo el siglo XIX.

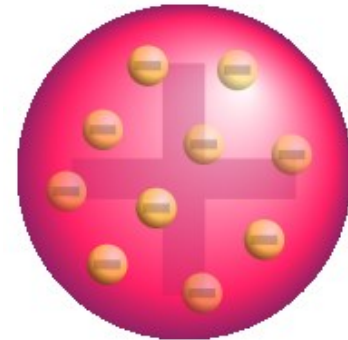
1897 – Modelo Atómico de Thomson (o modelo del budín con pasas)..

El descubrimiento de los “rayos catódicos” por Hittorf (alemán;1824-1914) en 1869 y las experiencias de Lenard (austro-húngaro; 1862-1947), imaginando al “electrón”, llevaron a J.J.Thomson (inglés;1856-1940) en 1897, a “*descubrir realmente al electrón*”, *con su carga eléctrica negativa*.

Esto último lo llevó suponer que el átomo era una “masa positivamente cargada y difusa” en la cual estarían “embebidos” los electrones.

El modelo atómico de Thomson era concebido como una esfera maciza con carga eléctrica positiva dentro de la cual estaban incluidos los electrones negativos.

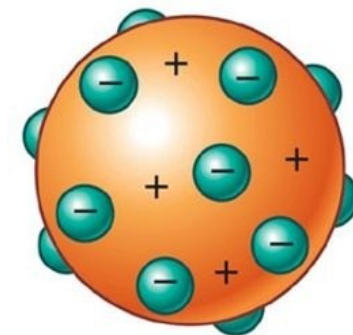
A principios del Siglo XX este modelo atómico era aceptado normalmente.



Modelo Atómico de Perrin:

Poco tiempo después que Thomson, Jean Baptiste Perrin (frances 1870 – 1942) que también había investigado los rayos catódicos, introdujo una modificación de la estructura anterior, afirmando que los electrones, como cargas negativas, estaban en la parte exterior de la esfera positiva.

No fue ésta una contribución fundamental al modelo atómico anterior, pero estableció una cierta “libertad” para los electrones.



CARGA POSITIVA = CARGA NEGATIVA
(Esfera) (Electrones)

1911 - Modelo atómico de Rutherford.

Cuidadosas experimentaciones llevaron a Ernest Rutherford (neozelandés-británico; 1871 - 1937) al convencimiento de que el átomo no era macizo sino que era un “inmenso espacio vacío”.

En efecto, de acuerdo con este modelo y refiriéndonos al Hidrógeno, (el elemento mas liviano), el átomo estaba formado por un “*núcleo central*” fijo, con la mayor parte de la masa del átomo y carga eléctrica positiva, llamado “protón”; rodeado por un “electrón” de escasa masa y carga eléctrica negativa, describiendo una órbita circular a gran distancia del núcleo.

El equilibrio orbital se debía a la fuerza centrífuga, oponiéndose a la atracción electrostática entre las partículas. Este “pequeño sistema solar en miniatura” es la imagen visual que todos tenemos del átomo moderno.

En las figuras que siguen van a quedar mas claras la descripciones anteriores.

Atomo de Hidrógeno - Modelo de Rutherford - 1911

Electrón (-)



Protón (+)

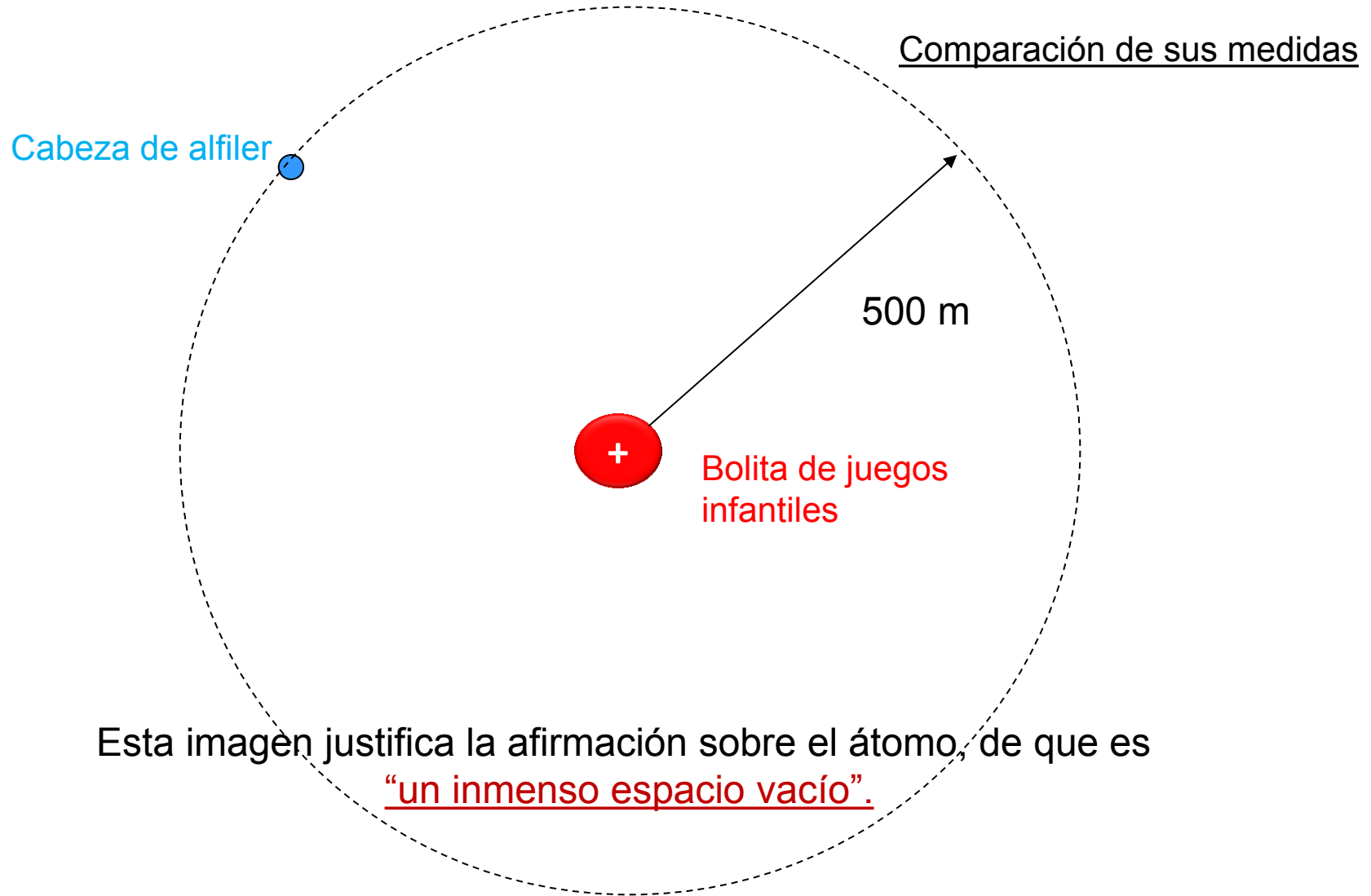
Diámetro orbital: 10^{-10} m

Diámetro del núcleo: 10^{-15} m

Masa del protón: $1,673 \cdot 10^{-27}$ kg

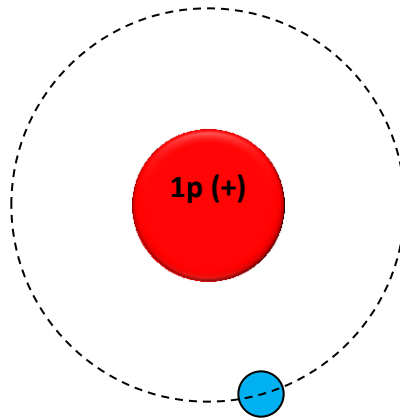
Masa del electrón: $1/1836$ M_p (alrededor de 2000 veces mas pequeño)

Atomo de Hidrógeno - Modelo de Rutherford - 1911



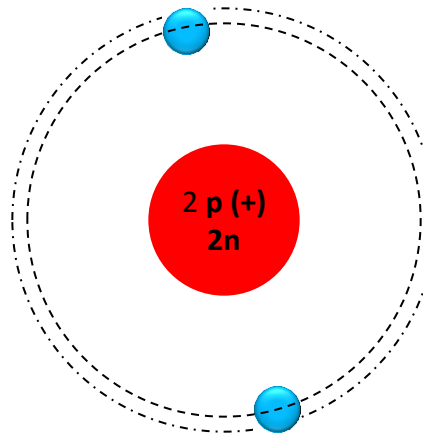
Átomo de Hidrógeno (H)

- Un electrón en órbita.
- Un protón en el núcleo.



Átomo de Helio (He)

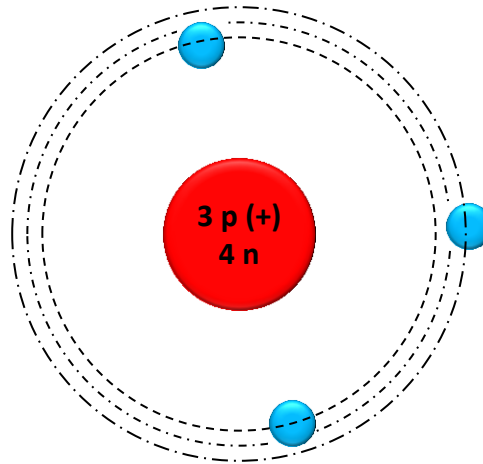
- dos electrones en órbita
- dos protones, mas dos neutrones en el núcleo

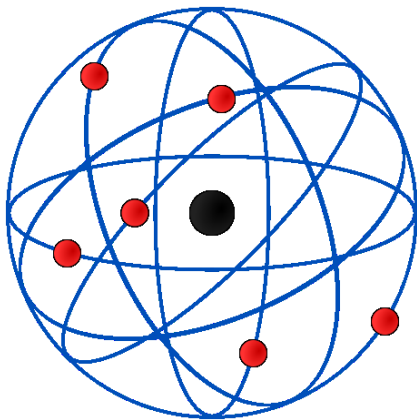


Se debe señalar que el **neutrón**, partícula eléctricamente neutra, pero de masa igual a la del protón, fue concebido como idea teórica, necesaria para justificar el peso atómico químico. Recién se descubrió materialmente en 1932 .

Átomo de Litio (Li)

- tres electrones en órbitas.
- tres protones, mas cuatro neutrones en el núcleo.





En general, de aquí en adelante, los átomos de los elementos siguientes van teniendo mas electrones en órbitas, aumentando de a una unidad, hasta llegar al elemento natural mas pesado, el URANIO , que tiene 92 electrones orbitales.

Tiene también 92 protones en el núcleo y un número de neutrones que puede variar entre 142 y 146.

El número de electrones orbitales, eléctricamente negativos, igual a la cantidad de protones en el núcleo, eléctricamente positivos, caracteriza a un elemento químico y se conoce como:

« Número Atómico (Z) » .

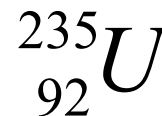
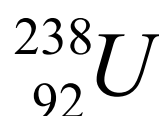
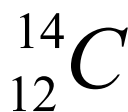
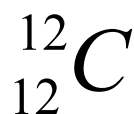
Asimismo, el número de partículas totales en el núcleo, protones mas neutrones, se denomina:

« Peso Atómico (A) » .

Átomos del mismo elemento químico, (es decir con igual número atómico), pueden tener núcleos con diferente cantidad de neutrones (distintos pesos atómicos). Estos átomos de igual «Z» pero de diferente «A», se conocen como:

« Isótopos »

Internacionalmente, se anota un elemento con su símbolo químico, colocando a su izquierda el A como índice y el Z como subíndice.

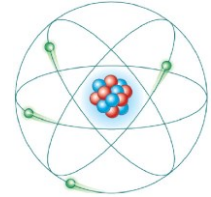


Pero para facilitar la escritura suele ponerse el valor del Peso Atómico, directamente a continuación del símbolo.

Ejemplos: C 12, O 16, Fe 56, Cu 63,
Ag 107, Ag 109, (isótopos de la Plata)
U 234, U 235, U 238, (isótopos del Uranio)

El átomo de Rutherford nada decía sobre las órbitas de los electrones (salvo que eran circulares).

Además contradecía las leyes de Maxwell del electromagnetismo.



En efecto los electrones que son partículas eléctricamente cargadas y en movimiento circular (es decir acelerado), deberían, de acuerdo con aquella teoría, emitir continuamente energía en forma de fotones. Por ello los electrones perderían energía y caerían sobre el núcleo del átomo.

El modelo de Rutherford era así “*inestable*”, contrariando la aparente estabilidad de la materia que nos rodea.

Por otra parte, no brindaba ninguna explicación sobre fenómenos físicos conocidos, tales como la emisión de espectros ultravioletas, luminosos, infrarrojos o de rayos X, característicos de cada elemento.

1913 - Modelo atómico de Bohr

Basándose conceptualmente en el modelo de Rutherford, el danés Niels Bohr (1895 – 1962), enunció un nuevo modelo tal que, admitiendo la “estructura planetaria” anterior, permitiera explicar las contradicciones antes señaladas.

Para eso se fundamentó en la incipiente “*mecánica cuántica*” de Max Planck – (alemán –1858-1947) y las investigaciones sobre “*fotoelectricidad*” de Albert Einstein – (alemán nacionalizado estadounidense-1879-1955).

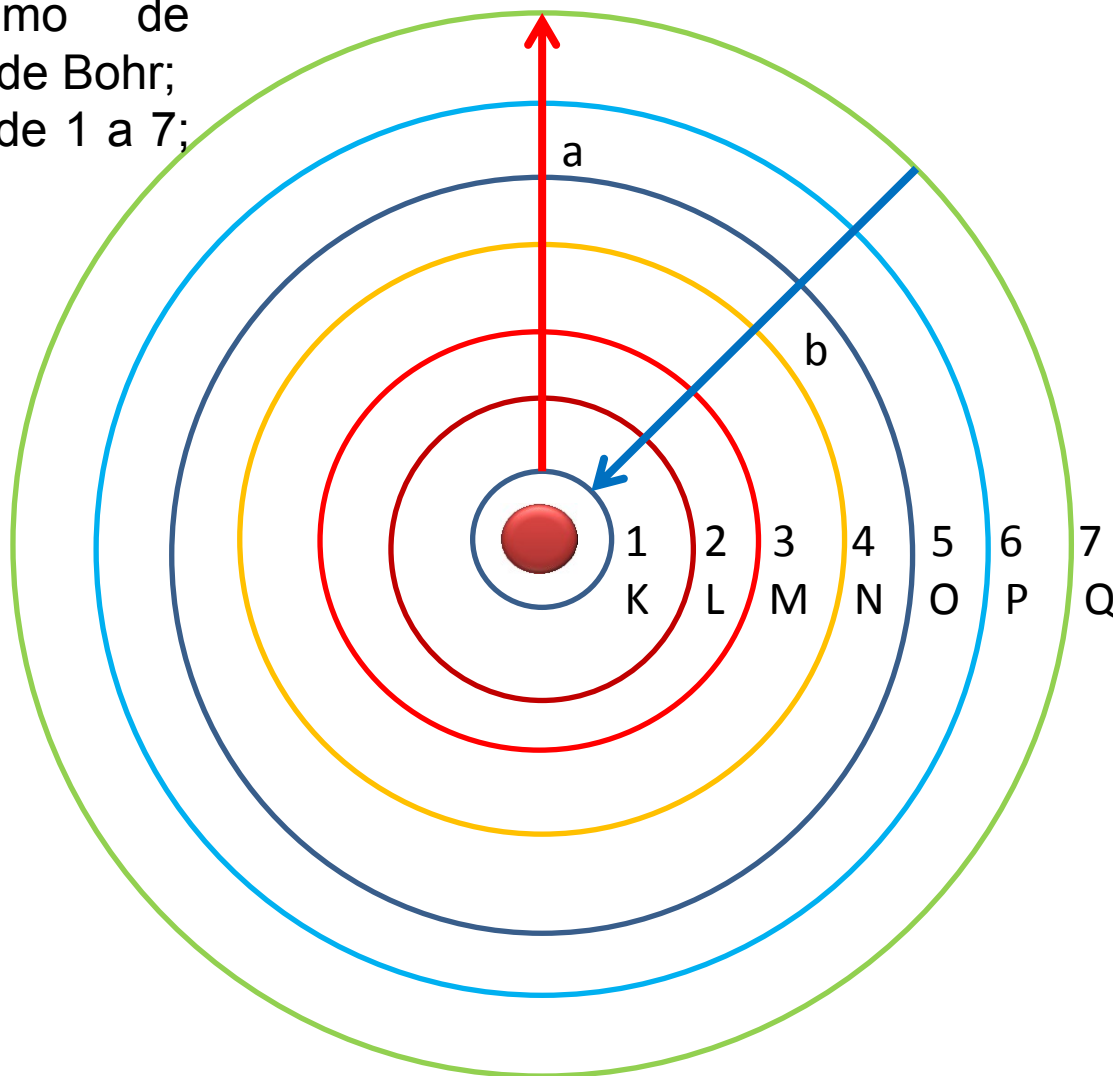
Su teoría tiene un fuerte apoyo matemático, pero básicamente se afirma en tres postulados:

1. Mientras permanecen en una órbita, los electrones ***no emiten energía***.
(enunciado en contradicción con el electromagnetismo clásico).
2. No todas las órbitas son permitidas, sino aquellas que fija una expresión matemática en función de un número entero “n” (n=1; 2; 3; 4; 5; 6 y 7) llamado “*número cuántico radial o principal*” (cuantificación).
3. Cada órbita define un nivel de energía y solo hay emisión o absorción de ella, cuando un electrón salta de una órbita a otra. (explicación de espectros).

Niveles permitidos para las órbitas de los electrones del átomo de Hidrógeno, según el modelo de Bohr; (La denominación actual es de 1 a 7; la clásica fue de K a Q).

El nivel de energía crece con el diámetro de la órbita permitida (valor de “n”).

Al ser excitado desde el exterior, el electrón puede ganar energía (por Ej. salta del nivel 1 al nivel 7 – flecha a). Por el contrario, entrega o emite energía cuando regresa del nivel 7 al 1 (flecha b).



Las explicaciones teóricas del modelo de Bohr coincidieron con la experimentación para el átomo de Hidrógeno, en relación con los espectros de emisión electromagnética de:

- “ultravioleta” (serie de Lyman); (órbitas 2; 3; 4; 5 y 6 contra nivel 1).
- “luz visible” (serie de Balmer); (órbitas 3; 4; 5 y 6 saltando a la 2).
- “infrarrojo cercano” (serie de Paschen); (niveles 4; 5 y 6 con el 3).
- “infrarrojo remoto” (serie de Brackeett); (niveles 5; 6 y 7 contra la órbita 4).

También permitieron justificar la realidad en el caso del Helio, pero aparecían algunas discrepancias al intentar explicar los espectros de emisión de elementos mas complejos.

En efecto, en todos los casos aparecían “niveles de energía” que diferían de los previstos. Era como si para una misma órbita existiesen “varios subniveles”.

Resultaba evidente que el número “n” era insuficiente para describir todos los estados posibles de un electrón en los átomos de los elementos mas complicados que el Hidrógeno o el Helio.

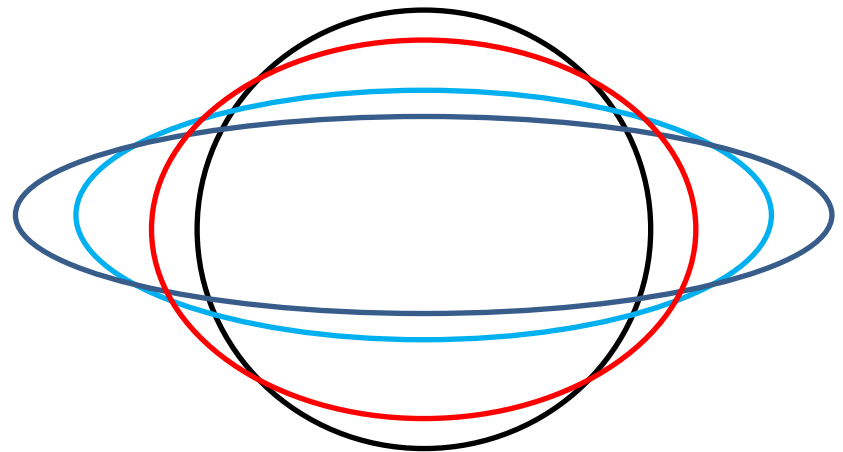
1916 - Modelo atómico de Sommerfeld

Teniendo en cuenta los anteriores modelos de Rutherford–Bohr, el físico alemán Arnold Sommerfeld (1868 – 1951) enunció en 1916 una nueva versión del modelo atómico, introduciendo una visión “relativista”.

Generalizó la teoría agregando al “*número cuántico principal o radial*” de Bohr “ n ”, un segundo “*número cuántico azimutal*”, “ l ”.

Esto originó que del anterior concepto de órbitas circulares se pasara a la idea de órbitas “elípticas”, que fue finalmente la única idea válida agregada.

La modificación de las órbitas se cumple solo a partir del nivel “ $n=2$ ”



1926 - Modelo atómico de Schrödinger

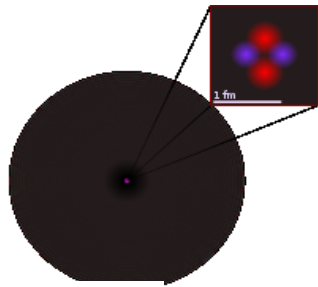
Basándose en la teoría elaborada en 1924, por el físico francés, Louis-Victor de Broglie (1892-1987) sobre la dualidad “onda–corpúsculo” y en la “mecánica cuántica” de Max Planck (alemán 1858-1947), en 1926 el físico austriaco Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961), desarrolló la “mecánica ondulatoria”.

En efecto, para de Broglie toda partícula material podía ser considerada como una onda; en forma similar al comportamiento dual de la luz: como onda electromagnética o como “fotón” (postulado en 1905 por Einstein, por aplicación de las ideas de Planck). El principio de “de Broglie” de la “dualidad” es fundamental en la “mecánica cuántica”.

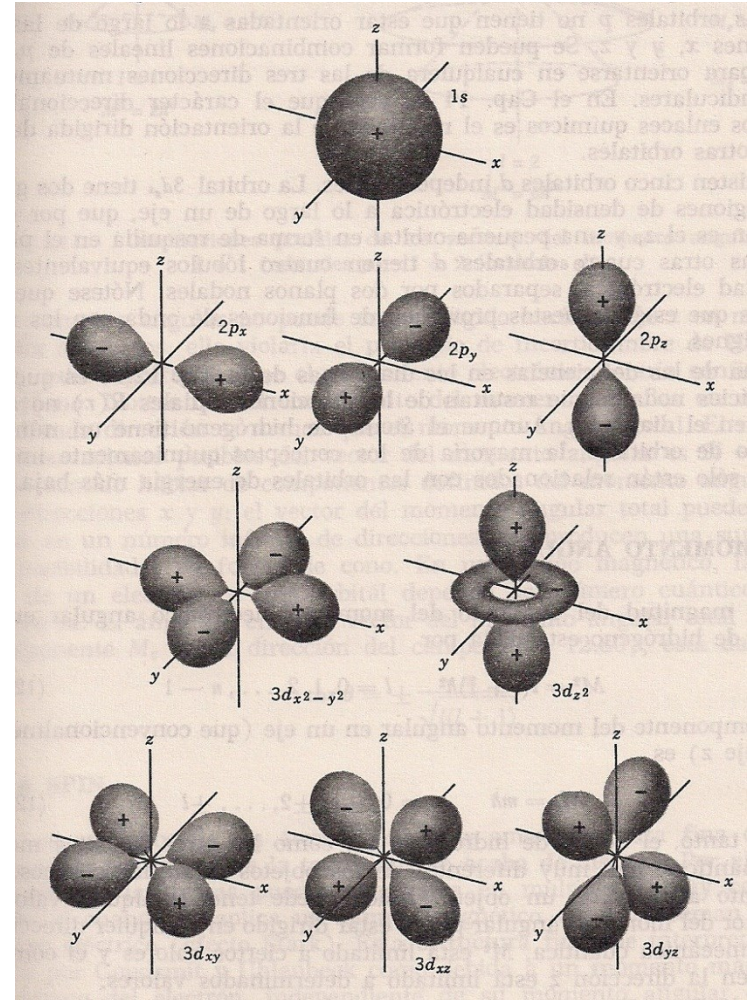
Schrödinger consideró a los electrones como “ondas”, aplicó las matemáticas de Hamilton (irlandés 1805-1865) y desarrolló una ecuación de “gran complejidad matemática”. No obstante sólo pudo resolver con exactitud el átomo de hidrógeno y con cierta incertidumbre el átomo de helio. Para resolver átomos distintos se recurrió posteriormente a métodos de resolución aproximados.

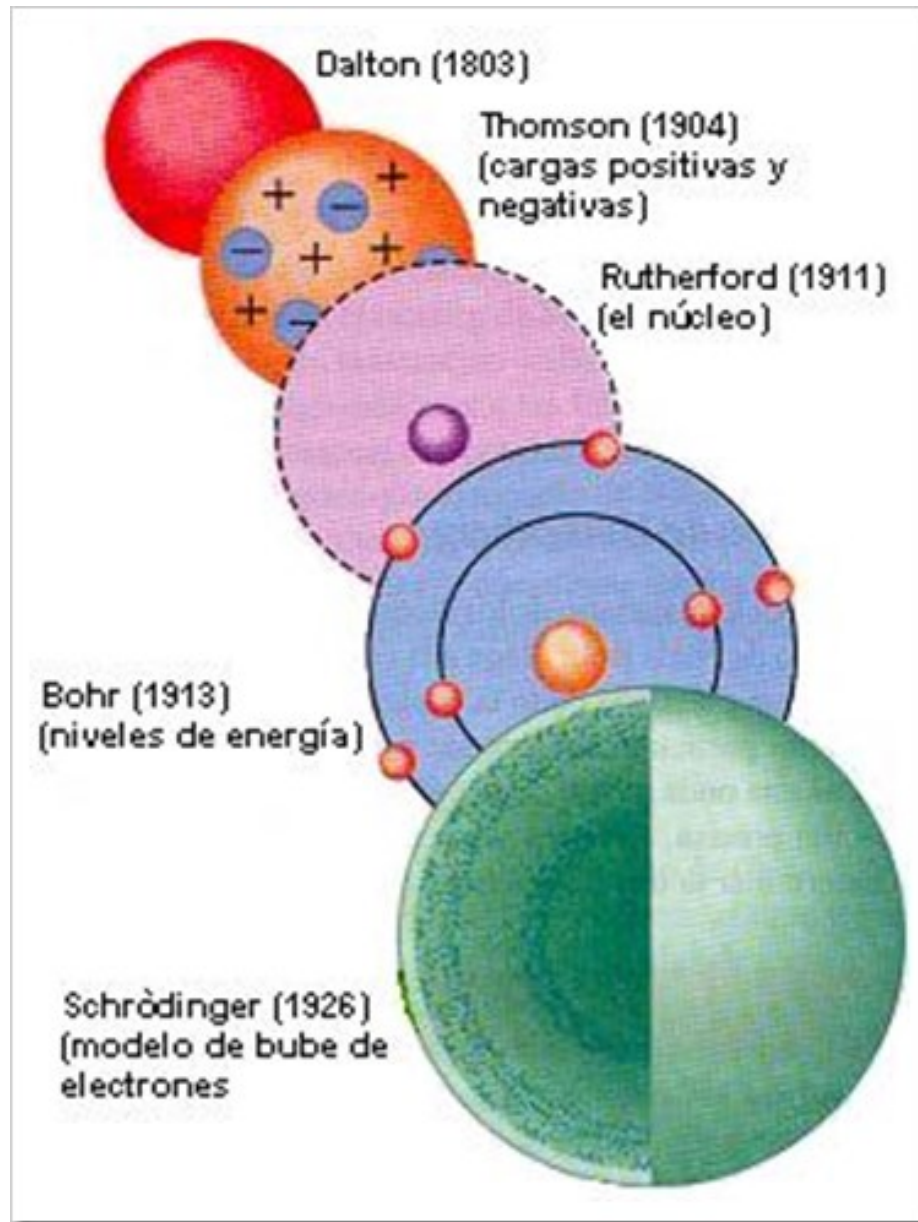
En el modelo de Schrödinger se abandona la imagen de los electrones como pequeñas esferitas cargadas eléctricamente que giran alrededor del núcleo en órbitas geométricas.

En lugar de esto se describe a los electrones como una “función de onda”, el cuadrado de la cual representa la “probabilidad” de encontrar a la partícula en una zona del espacio (alrededor del núcleo).



Las “nubes de probabilidad” que remplazan a la idea de las órbitas geométricas circulares o elípticas anteriores, se conocen como “orbitales” y sus formas, en apariencia caprichosas, son también consecuencia de las soluciones matemáticas teóricas de la ecuación de Schrödinger.





Con su ecuación matemática, Schrödinger trató de describir las características de todos los electrones de un átomo, en cuanto a las energías, formas y orientaciones de los orbitales.

Para ello introdujo lo que se conoce como “números cuánticos”, que caracterizan las soluciones de la ecuación propuesta.

Los números cuánticos son tres:

n = número cuántico principal, que indica el “nivel de energía” donde se encuentra el electrón; asume valores enteros positivos del 1 al 7 .

l = número cuántico secundario, que indica el “subnivel de energía” del orbital en el que se encuentra el electrón , puede ser s , p , d y f (0 , 1 , 2 y 3).

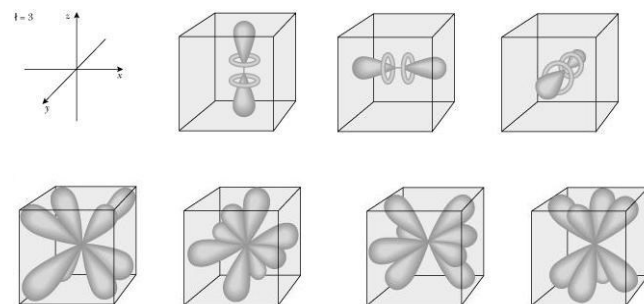
m = número cuántico magnético , representa la orientación de los orbitales en el espacio.

1930 – Modelo Atómico de Dirac y Jordan.

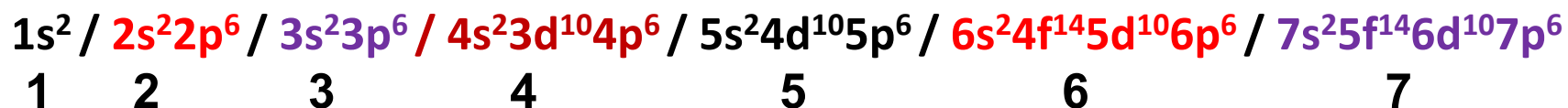
A partir de 1928 **Paul A.M. Dirac** (inglés, 1902-1984) y **Pascual Jordán** (alemán, 1902-1980), basándose en la mecánica cuántica ondulatoria, introdujeron una descripción cuántico-relativista del electrón, postulando la existencia de la antimateria. En las ecuaciones aparece el cuarto número cuántico, denominado "s", además de los ya conocidos "n", "l" y "m" (que planteaba Schrödinger).

De acuerdo con las transformaciones iniciada por Born y Jordan y desarrollada en toda su amplitud por Jordán y Dirac, se llegó a la conclusión de que la estructura formal de la mecánica cuántica se había integrado. Esto dio lugar a que en los años siguientes se formalizara la actual "teoría de la electrodinámica cuántica".

En 1930, con el cuarto número cuántico, se agregó la forma de los orbitales del subnivel superior y la estructura electrónica de los átomos quedó conformada en forma definitiva. Se había perfeccionado la solución cuántica anterior.



Para mayor facilidad en la construcción del “edificio electrónico”, se presenta una tabla que permite conocer la configuración y la localización exacta de los electrones en cuanto a “niveles y subniveles de energía”:



Los siete “niveles” se enfrentan con las “subcáscaras” s, p, d y f. Como índice, se indica en cada caso, el número máximo de electrones que puede contener cada una.

Se puede comprobar que cada “nivel energético principal” acepta un número máximo de electrones:

Nivel 1 (capa K)	2
Nivel 2 (capa L)	8
Nivel 3 (capa M)	8
Nivel 4 (capa N)	18
Nivel 5 (capa O)	18
Nivel 6 (capa P)	32
Nivel 7 (capa Q)	32

La estructura electrónica de los elementos químicos, agrupados por niveles de energía crecientes de abajo hacia arriba, se muestra en el gráfico:

Se separan en siete períodos, de acuerdo con la “Tabla Periódica”.

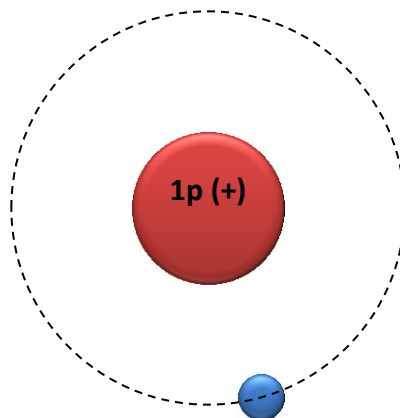
En el extremo derecho se indican las siete “capas” o “cáscaras” cuánticas principales (K; L; M; N; O; P; y Q), mientras que a la izquierda se señalan las “subcáscaras” secundarias (s; p; d y f).

Subcáscaras																Cáscaras
5f	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Mv	102	103	O	
6d	○		Ac	○	○	○		○	○						P	
7s							Fr	Ra							Q	
6p						Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				P	
5d						Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	O	
4f	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	N	
5d	○	○	La	○	○	○			○	○	○	○	○	○	O	
6s								Cs	Ba						P	
5p						In	Sn	Sb	Te	I	Xe				O	
4d						Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	
5s															O	
4p						Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				N	
3d						Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
4s															N	
3p						Al	Si	P	S	Cl	Ar				M	
3s								Na	Mg						M	
2p						B	C	N	O	F	Ne				L	
2s								Li	Be						L	
1s								H	He						K	
															1 ^{er} Período	
															2 ^o Período	
															3 ^{er} Período	
															4 ^o Período	
															5 ^o Período	
															6 ^o Período	
															7 ^o Período	

Átomo de Hidrógeno (H)

1 electrón

1º capa ó nivel : 1

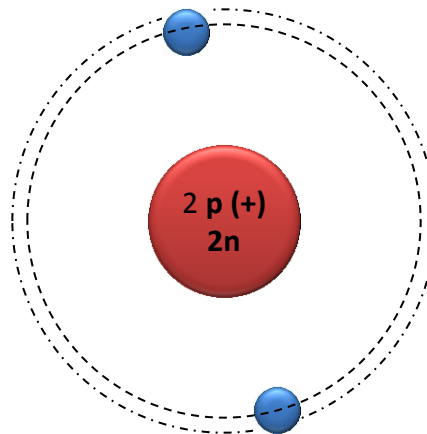


1s¹

Átomo de Helio (He)

2 electrones

1º capa ó nivel: 2



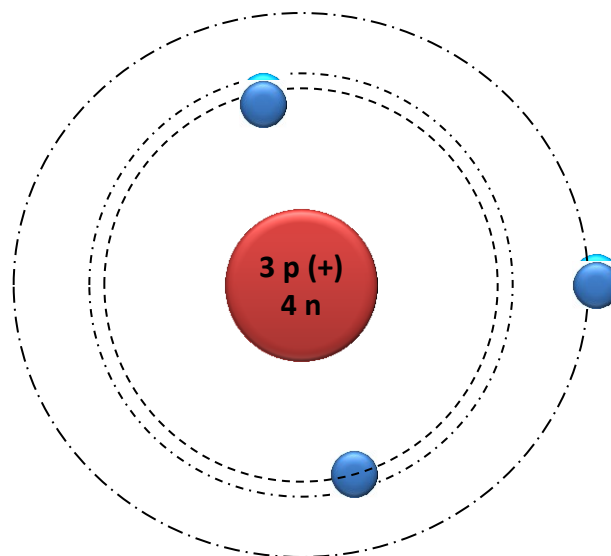
1s²

Átomo de Litio (Li)

3 electrones

1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **1**



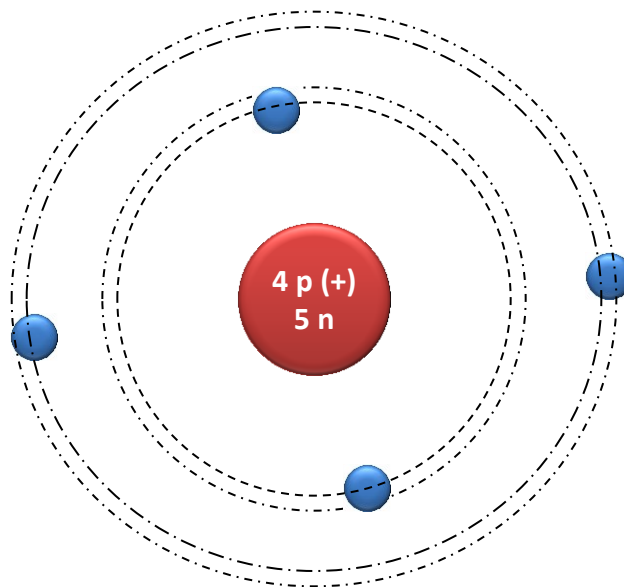
$1s^2; 2s^1$

Átomo de Berilio (Be)

4 electrones

1º capa ó nivel: 2

2º capa ó nivel: 2



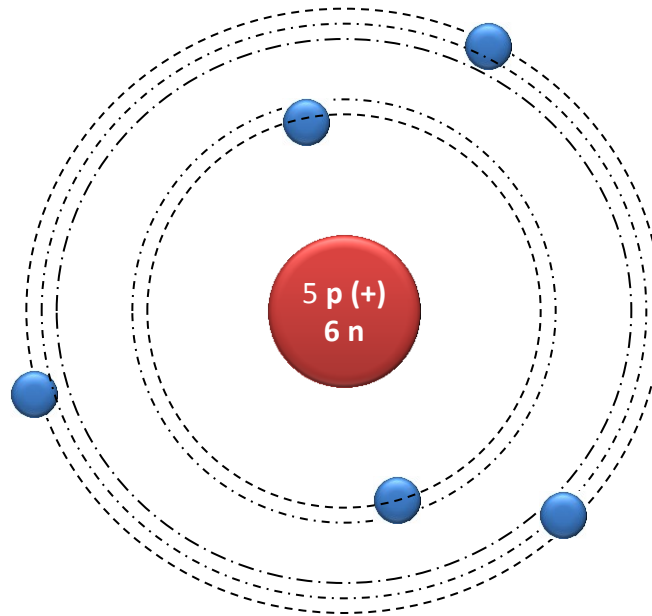
$1s^2; 2s^2$

Átomo de Boro (B)

5 electrones

1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **3**



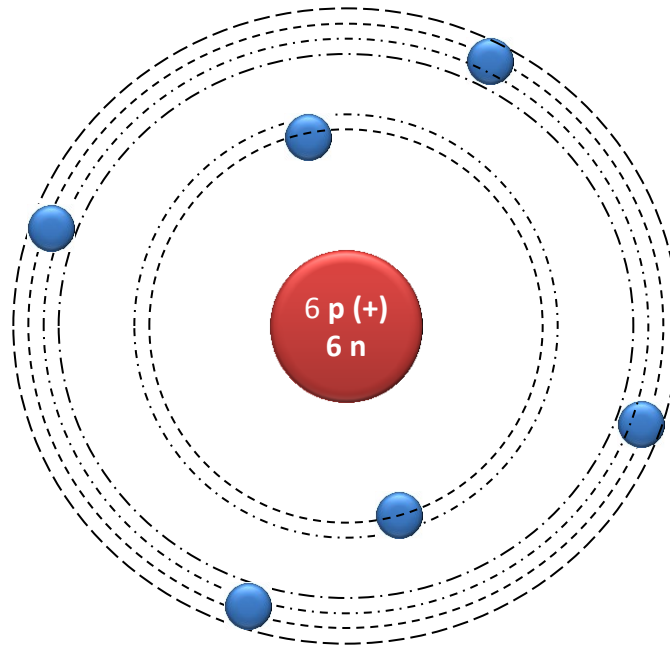
$1s^2; 2s^2; 2p^1$

Átomo de Carbono (C)

6 electrones

1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **4**



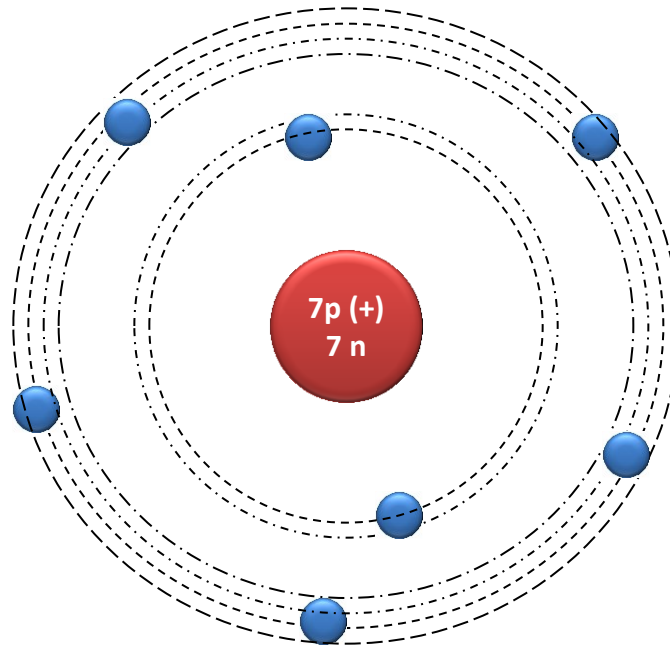
$1s^2; 2s^2; 2p^2$

Átomo de Nitrógeno (N)

7 electrones

1º capa ó nivel: 2

2º capa ó nivel: 5



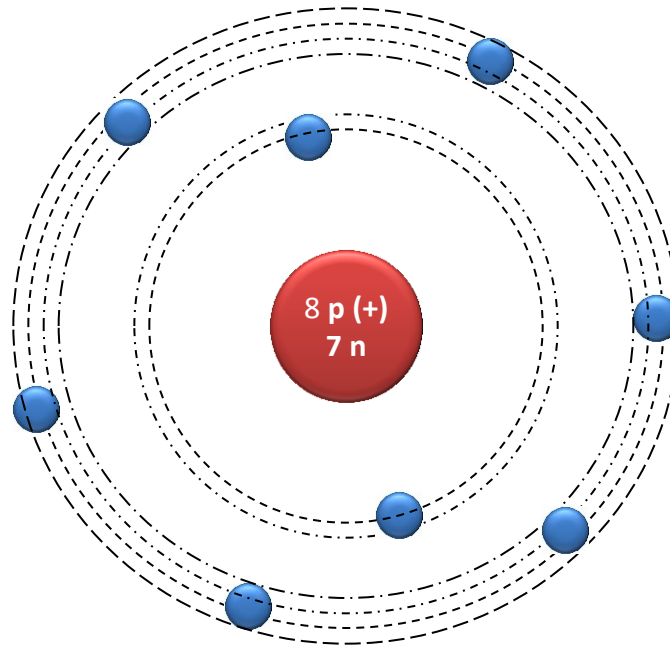
1s²; 2s²; 2p³

Átomo de Oxígeno

8 electrones

1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **6**



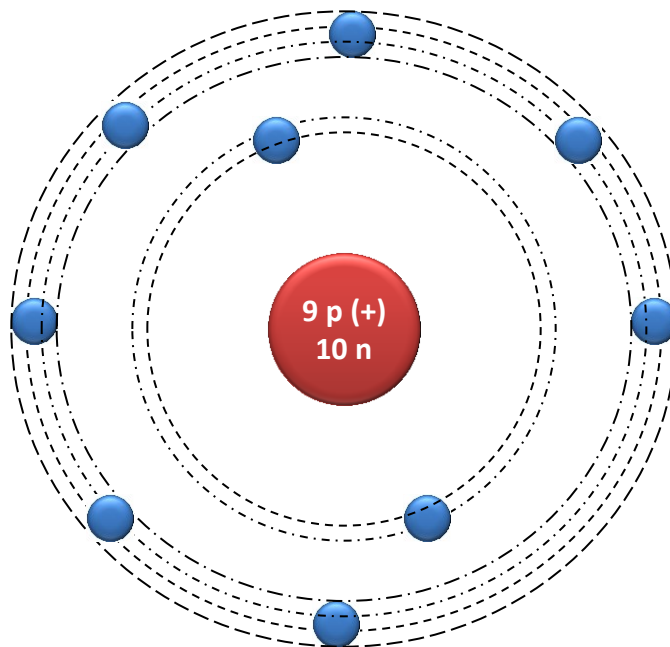
$1s^2; 2s^2; 2p^4$

Átomo de Fluor

9 electrones (-)

1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **7**



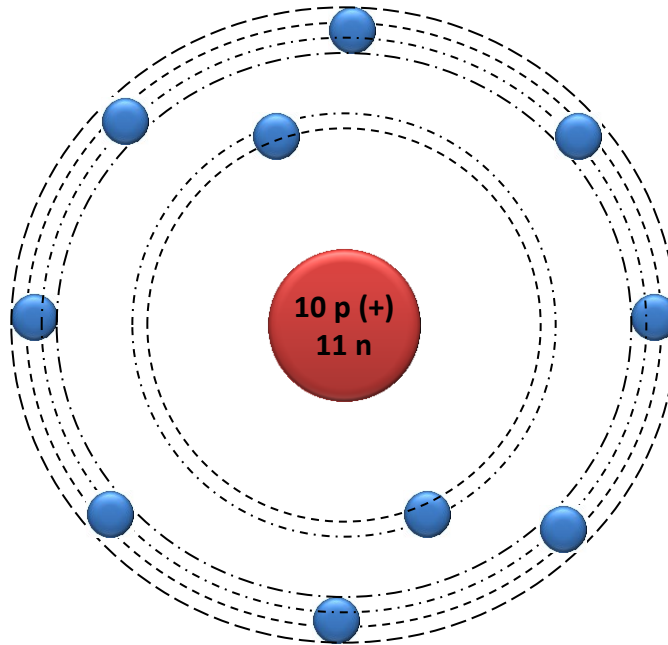
$1s^2; 2s^2; 2p^5$

Átomo de Neón (Ne)

10 electrones (-)

1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **8**



$1s^2; 2s^2; 2p^6$

Átomo de Sodio (Na)

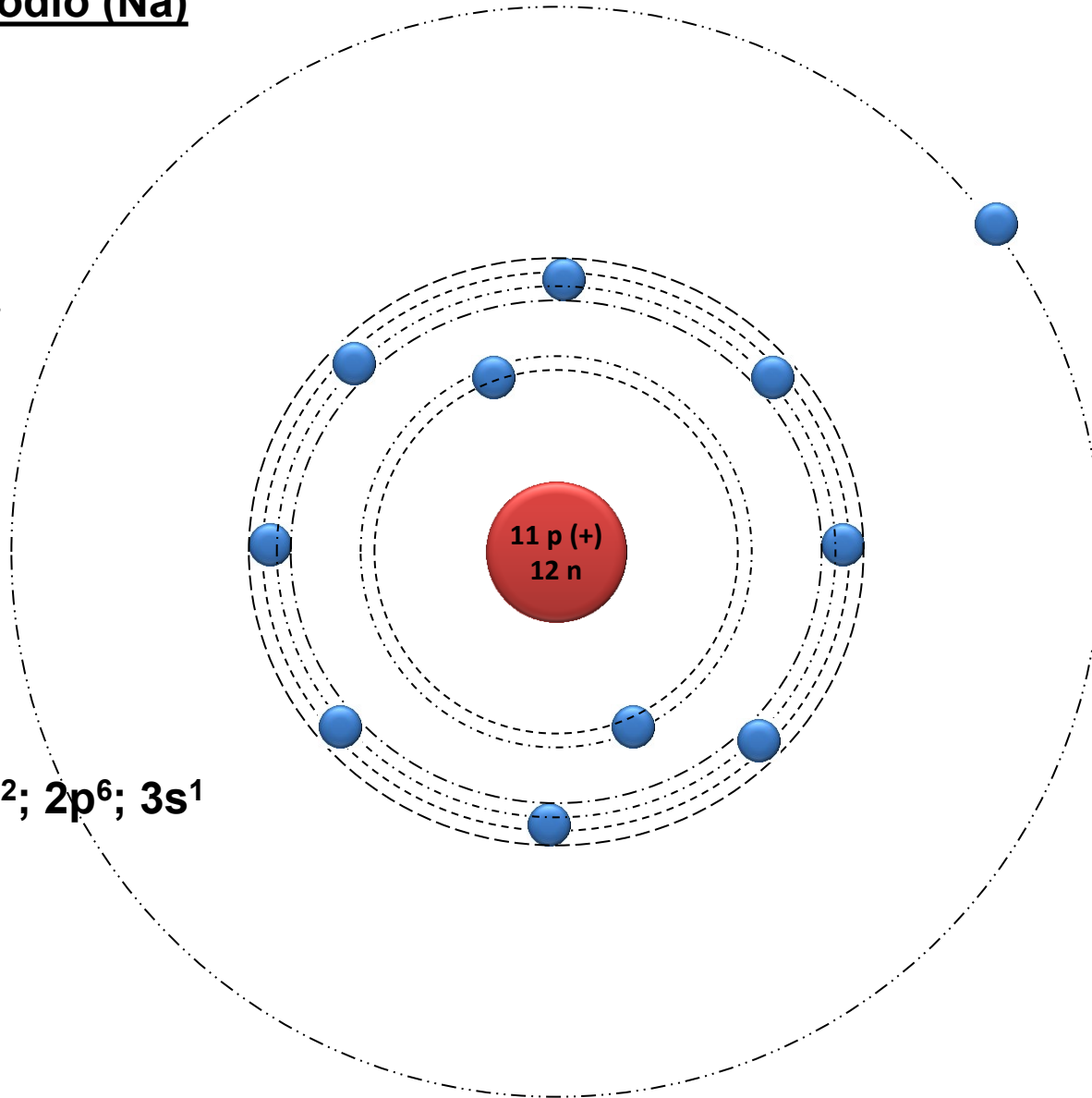
11 electrones

1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **8**

3º capa ó nivel: **1**

$1s^2; 2s^2; 2p^6; 3s^1$



Átomo de Silicio

14 electrones

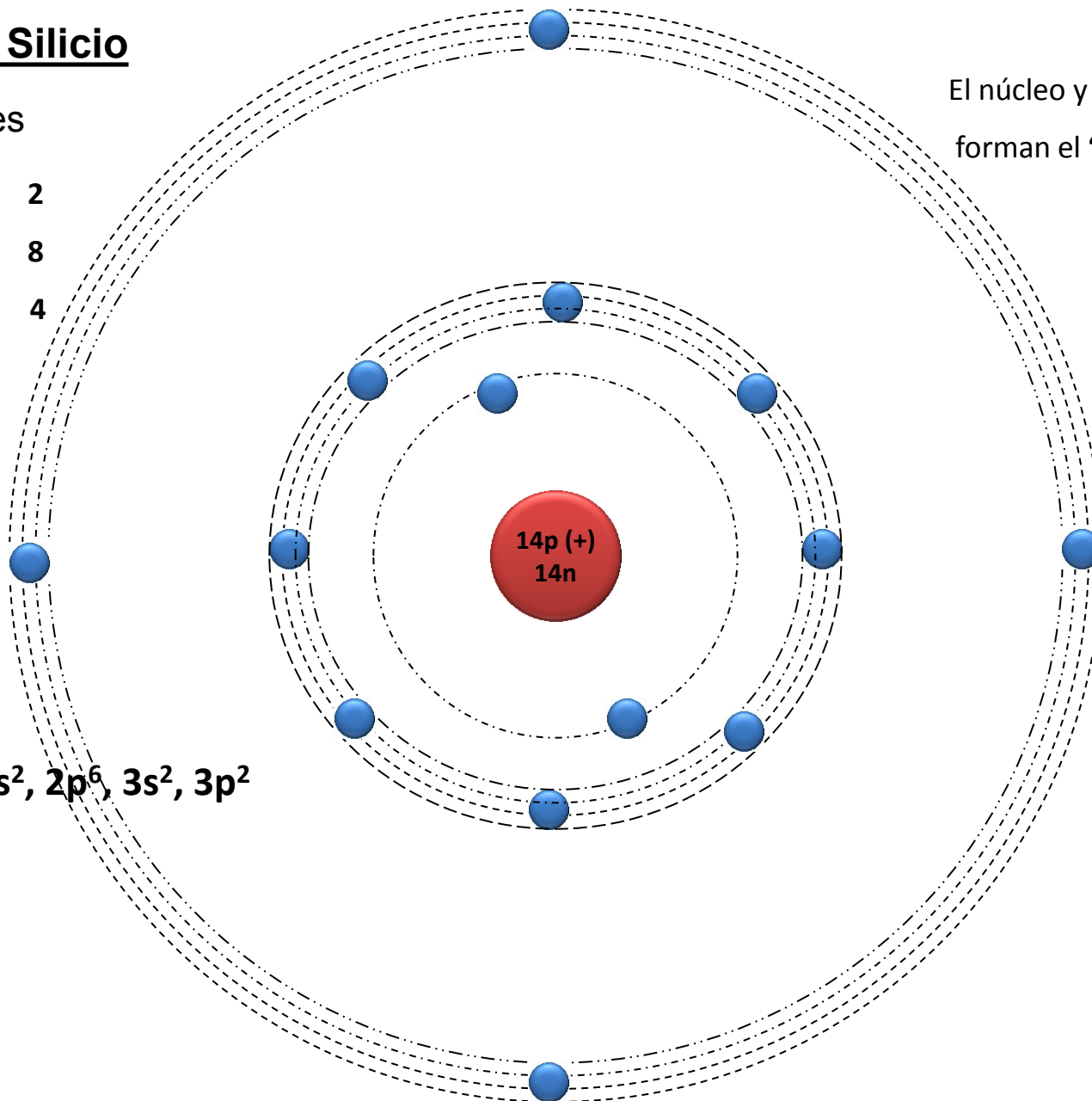
1º capa ó nivel: **2**

2º capa ó nivel: **8**

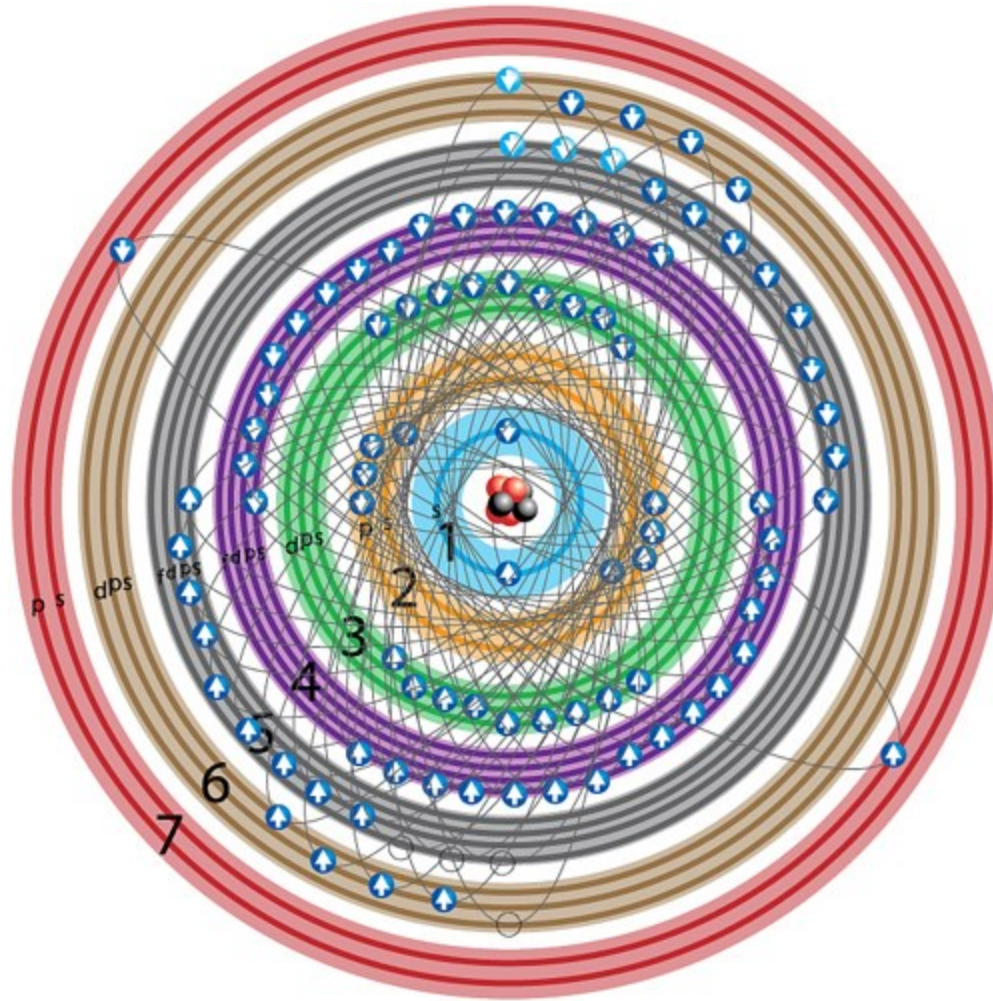
3º capa ó nivel: **4**

El núcleo y la 1º y 2º capa,
forman el “**Casco Atómico**”

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$



Atomo de Uranio, mostrando los 92 electrones ubicados en 7 niveles o capas. Cada nivel tiene marcados los subniveles.



Pero no nos olvidemos que la forma de las órbitas en la teoría cuántica, dejan de ser esféricas, para pasar a tener las formas extrañas que nos recuerdan los gráficos ya vistos.

Además y esto es muy importante, destacamos asimismo que las “órbitas geométricas” dejan de ser una realidad, para pasar a considerarlas como “orbitales” o “nubes de probabilidad”

Es bueno tener presente que toda la estructura electrónica de los átomos es un “modelo” basado en fundamentaciones teóricas desarrolladas con complicados procedimientos matemáticos, pero avalados por una “juiciosa experimentación”.

Los dos últimos modelos atómicos vistos, el de Schrödinger y el de Jordán-Dirac, permitieron en realidad dar una explicación coherente respecto de la conformación electrónica de la corteza de los átomos, habiéndose dejado de lado toda consideración sobre la naturaleza íntima de los “núcleos”.

Se sabía que la relación entre las masas de los átomos era mayor que la correspondiente relación entre las partículas con carga eléctrica (protones); por lo que ya desde Rutherford se había supuesto la existencia de partículas neutras (sin carga eléctrica), pero de masa semejante a los protones que llamaron “neutrones”.

Debemos destacar que recién en 1932, James Chadwick (inglés, 1891-1974), mediante experiencias de laboratorio, tuvo la certeza material de la existencia de los “neutrones”.

A partir de entonces se pudieron considerar las tres partículas fundamentales:

Partícula Subatómica	Masa (g)	Carga Coulombs	Carga Unitaria
Protón	1.67262×10^{-24}	$+1,6022 \times 10^{-23}$	+1
Neutrón	1.67493×10^{-24}	0	0
Electrón	$9,10939 \times 10^{-28}$	$-1,6022 \times 10^{-23}$	-1

Modelo estándar de la materia.

A principios de la década de 1930 del siglo pasado, comenzó a plantearse la necesidad de disponer de una “teoría” que describiera a las partículas elementales y como interactuaban entre ellas. **Era deseable asimismo, entender a las “partículas nucleares”, sobre las cuales poco se había investigado.**

A partir de esos años se desarrollaron diferentes “aceleradores de partículas” tales como los legendarios generadores de Van de Graaff (1931) y el de Cockcroft - Walton (1932). Estos eran en esencia generadores de altas tensiones eléctricas tales como 1 MV, para el primero y 300 MV o mas, para el segundo, que aceleraban protones por simple atracción electrostática.

También se desarrollaron “aceleradores circulares” como el “Ciclotrón” (Ernest O. Lawrence – 1929) y el “Sincrociclotrón” (laboratorio de Brookhaven – Nueva York – 1952), que funcionaban con campos electromagnéticos.

Estas máquinas permitieron “*bombardear*” núcleos atómicos con partículas de “alta energía” consiguiéndose así penetrar en ellos y obtener “radioisótopos” para usos médicos, veterinarios, agronómicos e industriales, pero también facilitaron ir descifrando la naturaleza “íntima” de los núcleos.

Modernamente la investigación del núcleo atómico se realiza con grandes “colisionadores”, que consisten en “aceleradores lineales” o “circulares”, cuyo funcionamiento no está basado en tensiones eléctricas elevadas, sino en campos eléctricos y magnéticos sincronizados por ondas de altas frecuencias.

Los “lineales” existen desde longitudes de 1 a 2 metros para usos médicos, hasta algunos de varios kilómetros, para investigaciones físicas.

Asimismo los “circulares” tienen su máxima expresión en el llamado “Gran Colisionador de Hadrones” (LHC), de 27 kilómetros de longitud, situado cerca de Ginebra en la frontera franco-suiza, actualmente la máquina aceleradora de partículas mas grande del mundo.

Es allí en la actualidad, donde se realizan las mas avanzadas investigaciones sobre los temas que nos ocuparán a continuación:

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.

Desde la década del `60 del siglo pasado y especialmente entre los años 1970 y 1973, se elaboró un “modelo atómico estandar” basado en la “teoría cuántica de campos” y en la “teoría de la relatividad especial”, con una fuerte apoyatura matemática (algunos hablan de “teoría cuántica relativista”).

No es de fácil comprensión, por lo que solo se harán descripciones aproximadas.

Conforme avanzó el siglo fue perfeccionándose el modelo, pero esto es fundamental, toda consideración teórica fue aceptada recién cuando una *irrebatible comprobación experimental* confirmaba lo supuesto.

Señalamos que la totalidad de las partículas del “mundo cuántico”, se comportan de acuerdo con el “principio de dualidad” de “de Broglie”, es decir que su comportamiento físico puede ser tanto como un *“corpúsculo”*, o como una *“onda”*.

También el concepto de “campo”, como “zona de influencia”, y la “vibración de un campo”, son a nivel cuántico, considerados como ondas o partículas.

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.

Fermiones (partículas asociadas a la materia).

Modernamente se consideran **“fermiones”** a todas las partículas materiales que componen el átomo.

Su nombre de debe al físico italiano Enrico Fermi (1901 – 1954)

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.

Fermiones (partículas asociadas a la materia).

Bosones (partículas asociadas a las interacciones).

Los **“Bosones”** son las partículas portadoras de las fuerzas o de las interacciones fundamentales, es decir, son las encargadas de hacer notar los efectos de los campos a los que se encuentran asociadas.

Su nombre se debe al físico Satyendra Nath Bose (hindú; 1894 – 1974).

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



Los **Fermiones** se subdividen en dos grupos:

Los **Quarks** que serían los constituyentes fundamentales de la materia no existen aislados; siempre se encuentran asociados a otros quarks. Una cualidad fundamental de los quarks es que tienen carga eléctrica fraccionaria.

Los **Leptones**, en cambio sí existen aislados y tienen carga eléctrica entera.

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



- Los "leptones" son los clásicos "electrones".

- Existen dos clases de "quarks": los llamados "Up" (u), de carga eléctrica positiva: $+2/3$ y los nombrados "Down" (d), con carga eléctrica negativa: $-1/3$. No tiene sentido hablar de masa por cuanto no se encuentran aislados.
- Los quarks "u" y "d" y los "leptones" forman toda la materia que nos rodea.

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.

Fermiones (partículas asociadas a la materia).

Bosones (partículas asociadas a las interacciones).

Quarks

Leptones

Up (u)

Down (d)

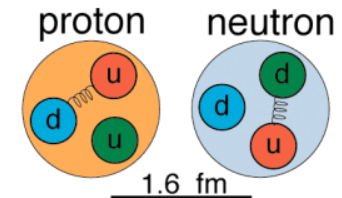
Electrones

Protones

$2u + 1d$

Neutrones

$1u + 2d$

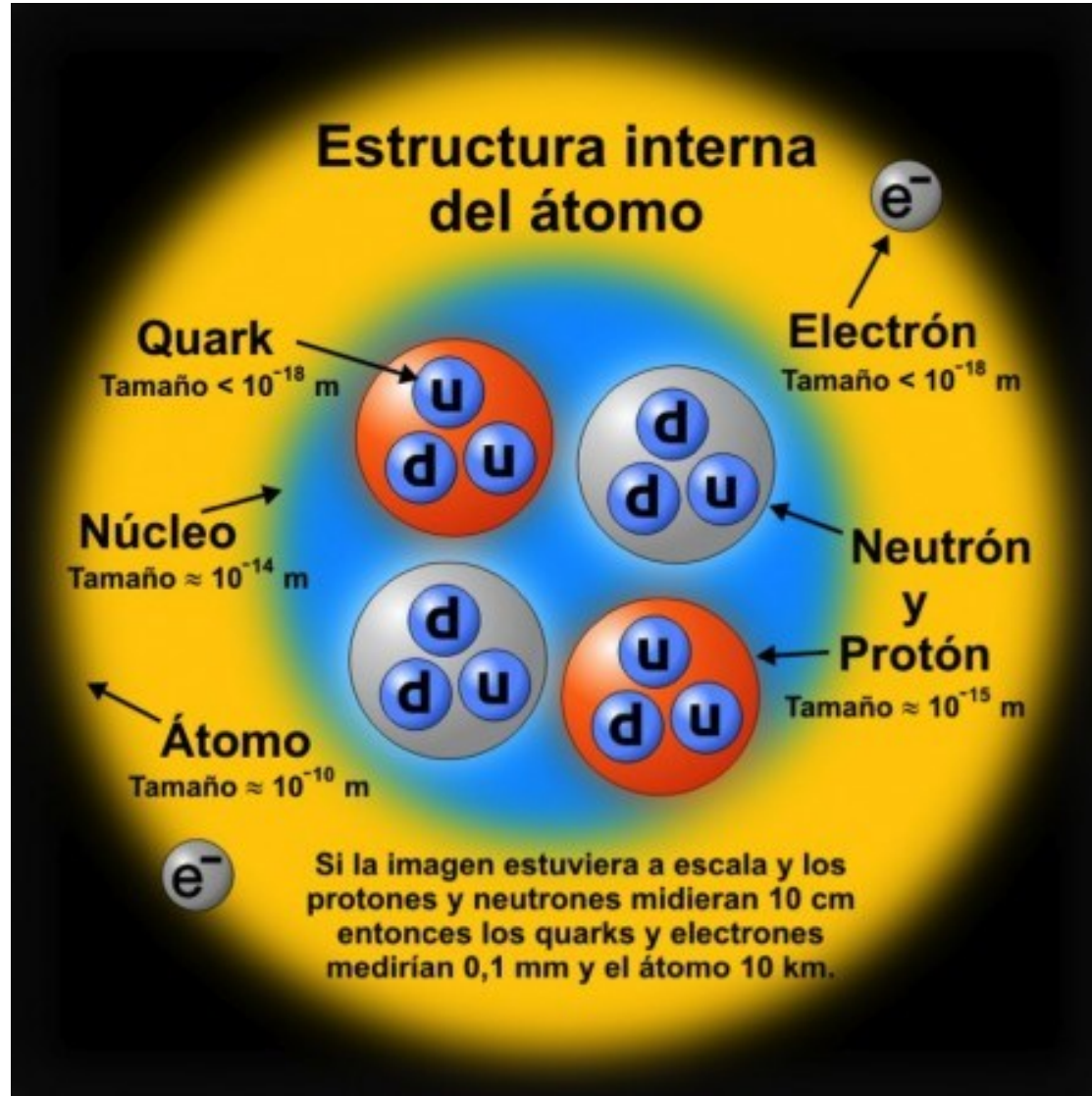


En efecto, tanto “protones” como “neutrones” están formados por “quarks”.

Carga electr. del protón = $+2.2/3 - 1.1/3 = +1$

Carga electr. del neutrón = $+1.2/3 - 2.1/3 = 0$

Modelo Atómico Estandar correspondiente al Helio



Fuerza electromagnética:

Una partícula eléctricamente cargada, (por ejemplo un electrón), genera un “campo eléctrico” en el espacio, y toda carga que se ubique en ese campo “siente” una fuerza de tipo eléctrico.

La dirección de esta fuerza coincide con la recta que une a las cargas y su sentido depende del signo, (si son de igual signo se repelen, y se atraen si tienen distinto signo). La expresión matemática, debida a Charles Coulomb (francés, 1736-1806) es:

$$F(e) = k \cdot q(1) \cdot q(2) / r^2$$

Cuando las cargas eléctricas están en movimiento generan, además del “campo eléctrico”, un “campo magnético”. Estos campos están unificados mediante unas ecuaciones llamadas “ecuaciones de Maxwell” (James Clerk Maxwell - escocés. 1831-1879), y se lo conoce como “campo electromagnético”

El alcance de este “campo de fuerza” es infinito ya que se propaga en todas direcciones en forma de “ondas electromagnéticas” (OEM).

Las diferentes OEM, por tratarse de un fenómeno oscilatorio, se diferencian entre otras cosas, por la frecuencia (f) o por la longitud de onda (λ).

En el cuadro se señala la clasificación habitual, donde los nombres sugieren las características y las aplicaciones. Estas cubren un espectro de alrededor de 18 órdenes de magnitud decimal. →

Ondas de Radio (OR)

Microondas (MO)

Rayos Infrarrojos (IR)

Luz Visible (Luz)

Rayos Ultravioletas (UV)

Rayos X (RX)

Rayos Gamma (Ry)

La “teoría cuántica” muestra que la energía que corresponde a cualquier OEM, se manifiesta en forma “discontinua o discreta”.

Los “ladrillos mínimos” de energía, conocidos originalmente como “cuantos”, son actualmente llamados “fotones” y tienen un valor dado por: $W = h \cdot f$

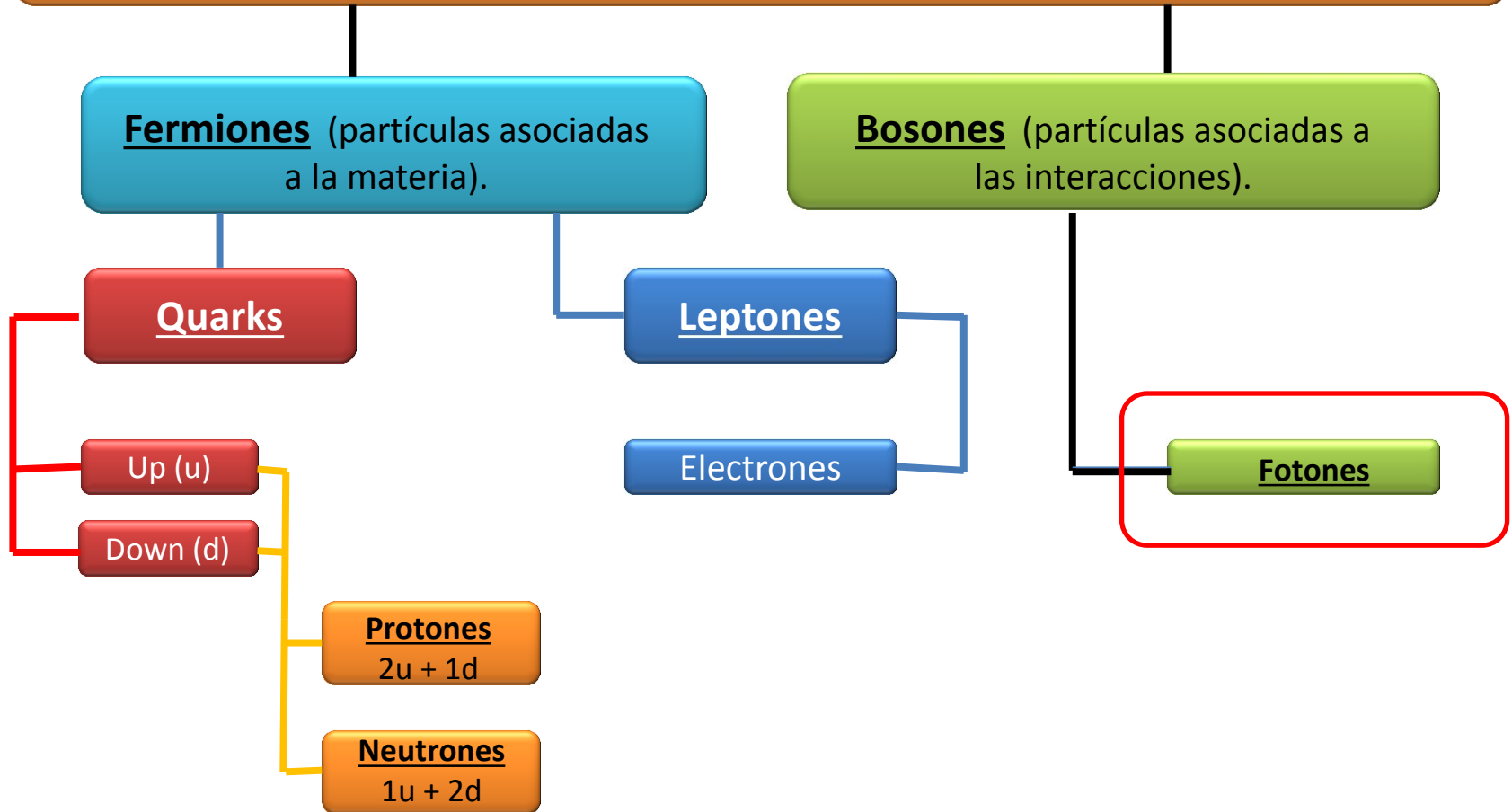
Donde “h” es una constante universal, conocida ahora como “constante de Planck” y cuyo valor es: $h = 6,6252 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$, y “f” la frecuencia de la OEM en $\text{Hz}(s^{-1})$.

Las fuerzas moleculares que explican la rigidez de los sólidos y la mayoría de las fuerzas ordinarias entre objetos comunes, tales como las fuerzas de contacto, las de rozamiento y las ejercidas por resortes y sogas, son manifestaciones macroscópicas de la “interacción electromagnética”.

Los “Fotones” son considerados como las “partículas” responsables de las manifestaciones cuánticas del fenómeno “electromagnético”.

- Los fotones no tienen masa, ni carga eléctrica.
- Tampoco se desintegran espontáneamente en el vacío.
- Viajan a la velocidad de la luz: **$c = 300\,000\text{ km/s}$**
- Presentan comportamientos duales (como partículas y como ondas).
- Finalmente los “Fotones” se incorporaron al “Modelo Atómico Estandar” como “Bosones”; en este caso, partículas asociadas a las interacciones electromagnéticas

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



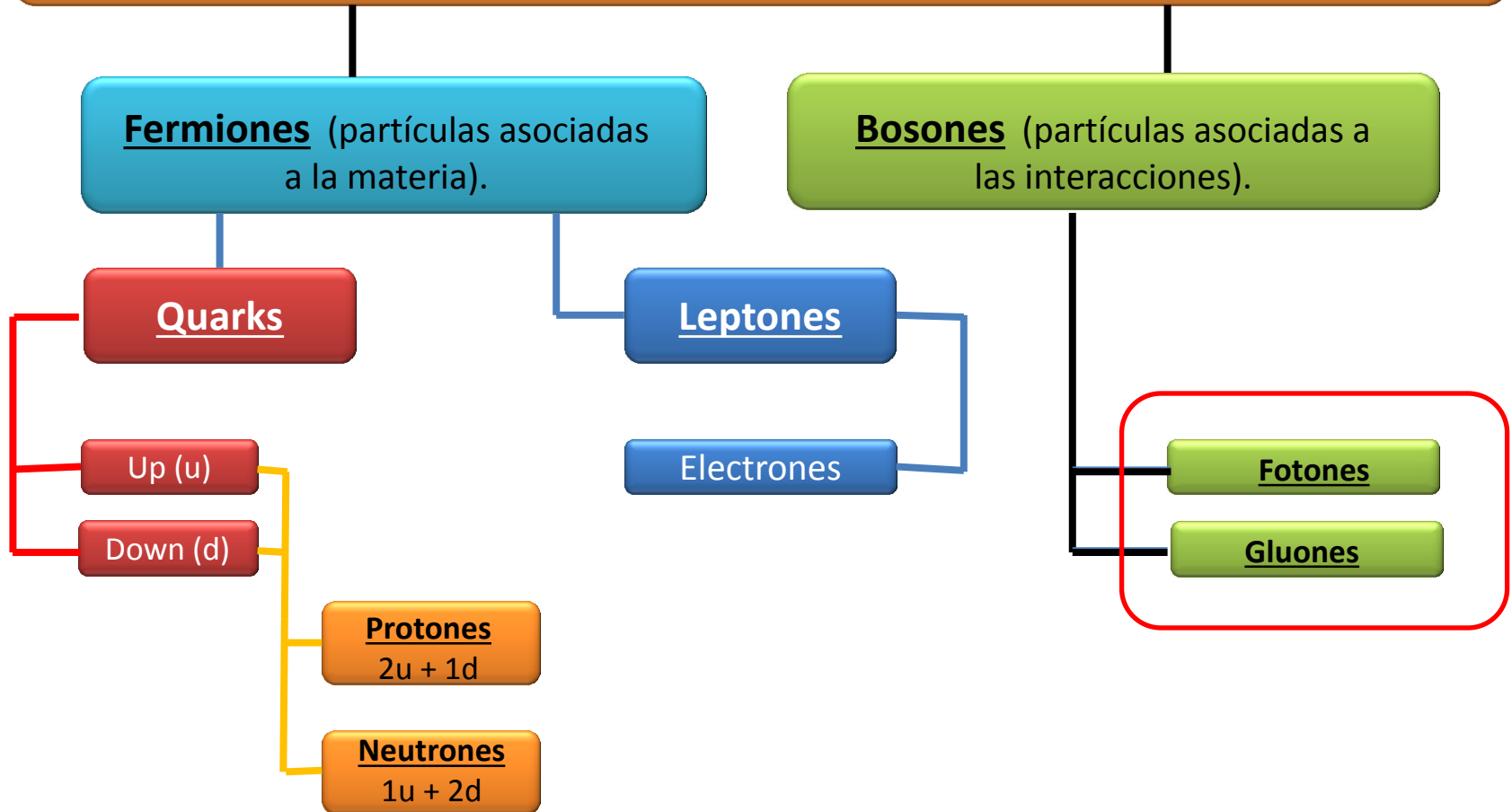
Las cargas eléctricas de los protones agrupados en el núcleo de un átomo, son obviamente todas del mismo signo, en nuestro caso positivas.

Al estar tan próximas entre sí, existe entre ellas una fuerte repulsión electrostática. Un cálculo físico sencillo muestra que la fuerza de repulsión que se desarrolla entre dos protones, separados por una distancia de un femtómetro (10^{-15} m), es del orden 230 N (aprox. 23 kg).

Esta enorme fuerza en comparación con la pequeñez de las masas, debe ser compensada lógicamente por alguna «fuerza nuclear» que mantenga unido al núcleo del átomo. Sin esta fuerza el átomo estallaría y se puede demostrar que actúa no solo en la interacción *protón con protón* sino también *protón con neutrón* y *neutrón con neutrón*. Es un verdadero “pegamento” nuclear.

Precisamente se conoce a esta como “fuerza nuclear fuerte” y es la responsable de la estabilidad de los núcleos atómicos. Se incorpora al “Modelo Atómico Estandar”, en forma de partículas a las que se las llamó “Gluones”. Su alcance es muy corto, del orden del radio atómico (10^{-15} m); es decir que para distancias mayores esta enorme fuerza ya no actúa.

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



La radiactividad es la propiedad que tienen algunos elementos, (debido a la desintegración natural de algunos núcleos atómicos) de emitir en forma espontánea tres tipos de radiaciones:

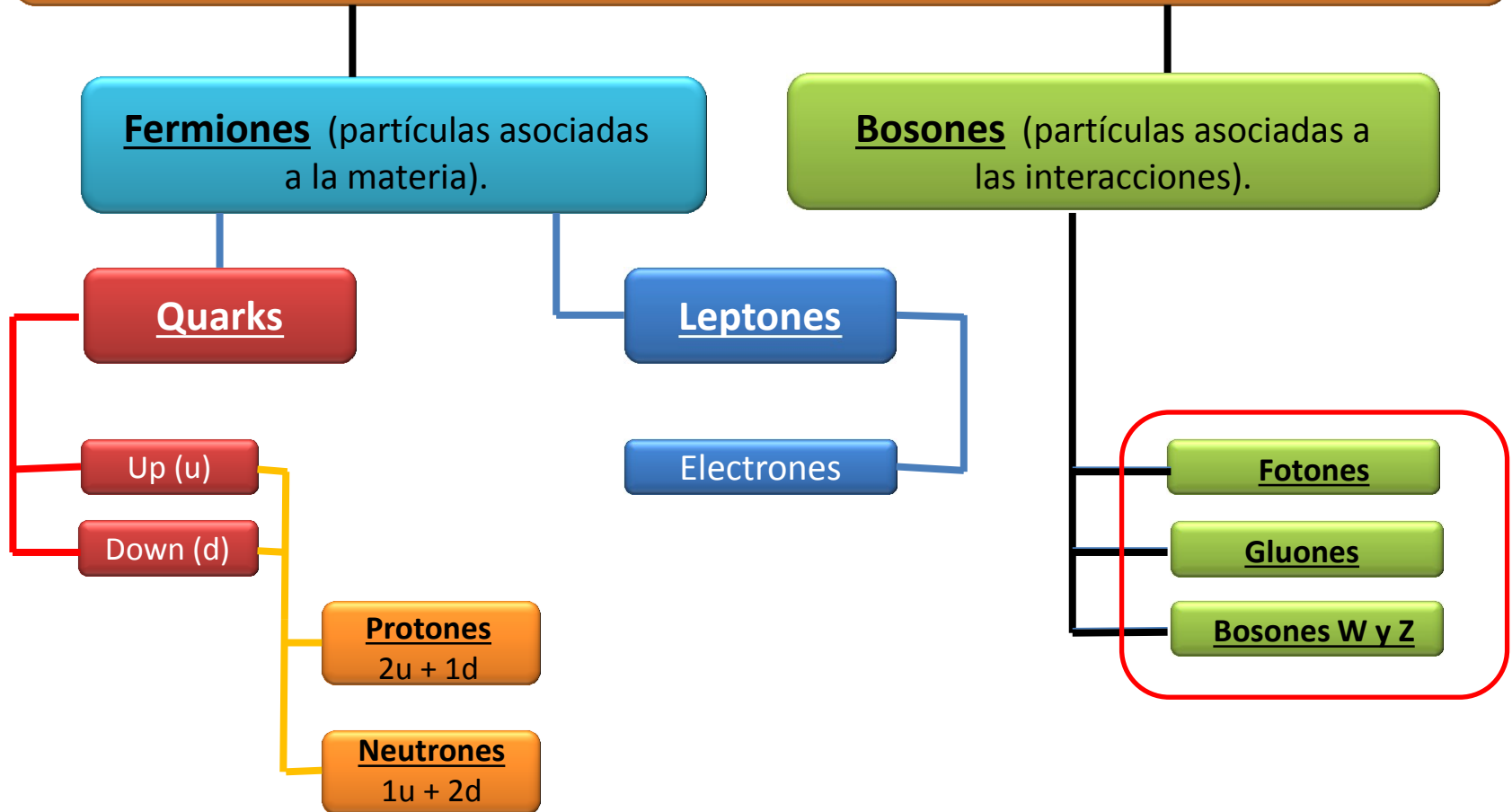
1°) “alfa”, partícula pesada, eléctricamente positiva (en realidad núcleos de Helio; dos protones y dos neutrones) y poco penetrante;

2°) “beta”, partícula liviana, negativa (electrones), algo mas penetrante y

3°) “gamma”, onda electromagnética, sin masa ni carga eléctrica, pero muy penetrante.

La interacción responsable de la “desintegración beta” es llamada “Fuerza nuclear débil” y se la incorpora al modelo atómico estandar, suponiéndola concentrada en bosones llamados **“W”** y **“Z”**. Estos bosones tienen gran masa, vida media muy corta y fueron detectados empíricamente en 1983 (aunque la idea teórica data de 1933 debida a Enrico Fermi-italiano 1901-1954).

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



Boson de Higgs

Por fuera de las consideraciones probadas del actual “modelo atómico estándar”, se puede encontrar el **Bosón de Higgs** y el **campo de Higgs asociado**.

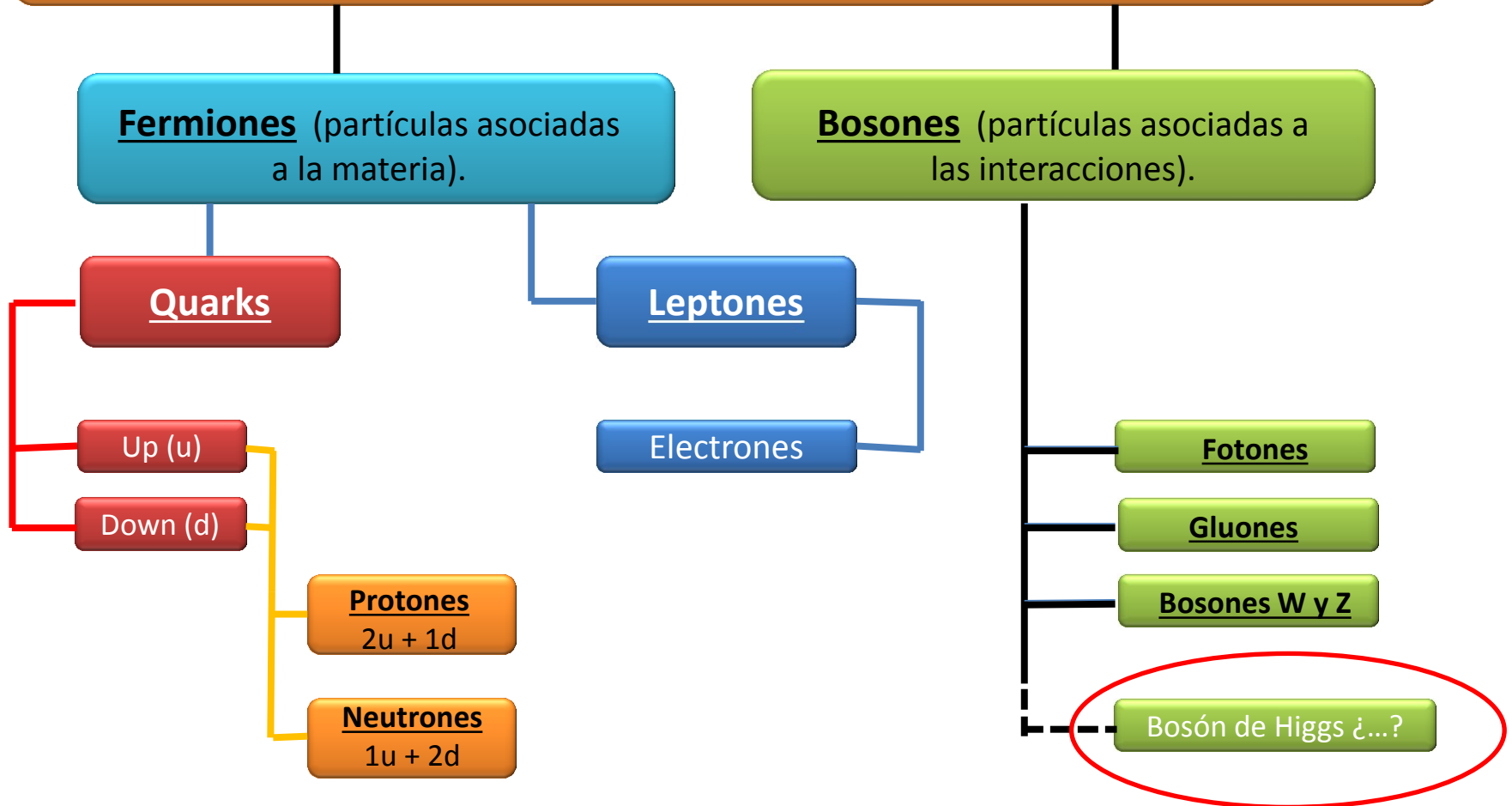
Este bosón ha sido previsto teóricamente en el año 1964, entre otros, por el físico británico Peter Higgs (1929 -).

Sería, en el caso de existir, el que explicaría el origen de la masa de todas las partículas elementales: leptones, quarks y bosones W y Z. (¿¿¿...???).

El 4 de julio de 2012 se anunció que en el CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), se había descubierto una partícula subatómica que en apariencia tendría las características del bosón de Higgs.

La noticia tiene una razonable verosimilitud, pero se espera la confirmación científica (luego de muchas y diversas experiencias).

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



Gravitación:

La “fuerza de gravedad” se manifiesta como una atracción entre todos los cuerpos dotados de masa, por lo que se la considera la más general de las fuerzas fundamentales.

El comportamiento de todo el universo está descrito por esta fuerza. Su influencia afecta incluso a la luz. Es la más débil de las cuatro fundamentales, pero su alcance, en teoría, es infinito.

Matemáticamente la fuerza de atracción entre dos cuerpos de masas m_1 y m_2 , situados a una distancia r , está dada por la ley de Newton:

$$F \text{ (N)} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

La fuerza está expresada en “N”, las masas están dadas en “kg” y la distancia entre los centros de gravedad respectivos, en “m”.

La “*constante de Gravitación Universal* G ” de la expresión, fue determinada en forma experimental y es conocida con una imprecisión del orden de 1 en 10 000. Su valor aproximado es:

$$G = 6.67384 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

Todo se explica a la perfección en el esquema teórico desarrollado por Newton. La fuerza gravitatoria es el **“cemento”** que une a todos los cuerpos del universo a escala cósmica.

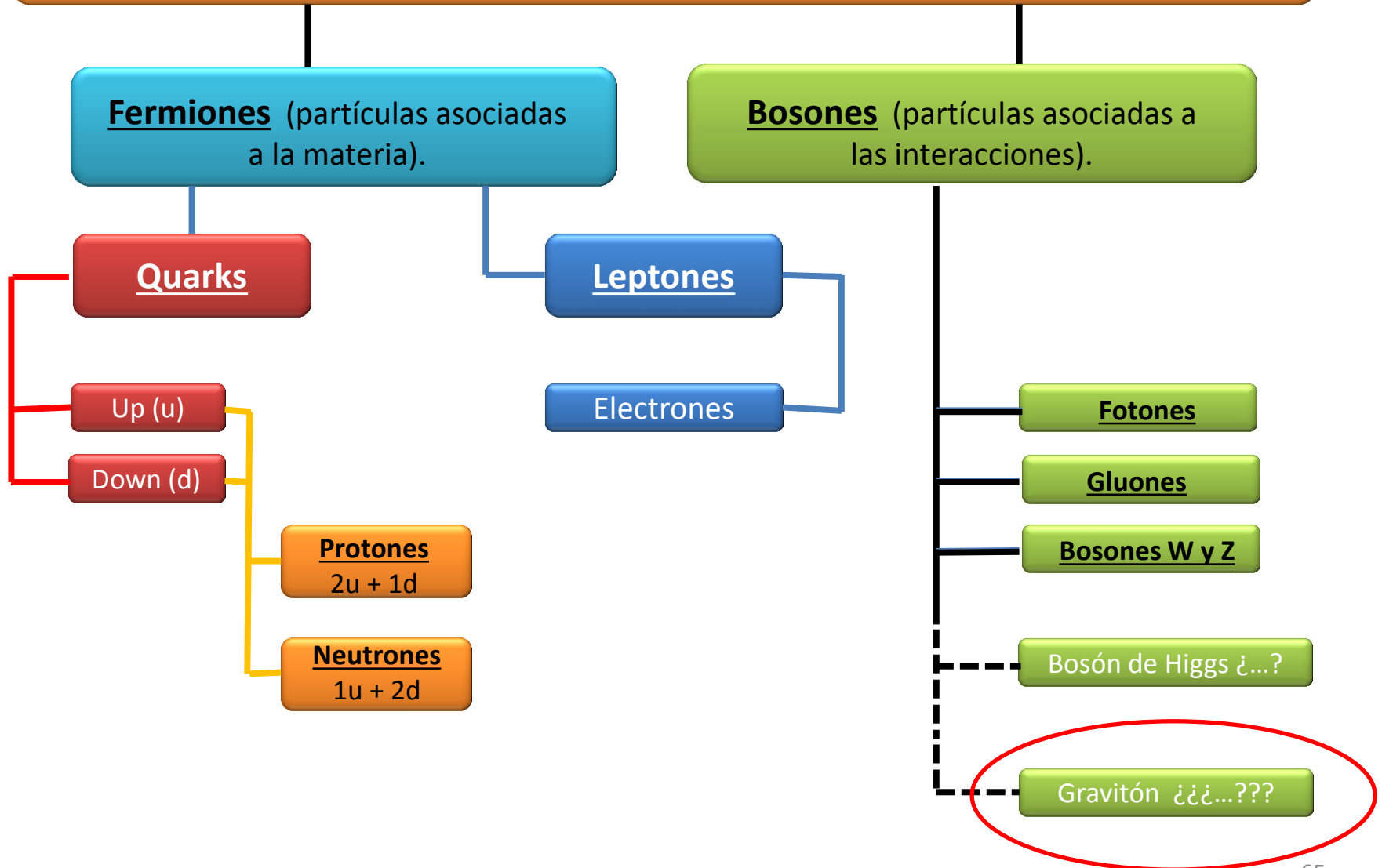
La única pieza que falta en el “rompecabezas” es la **naturaleza** de la fuerza de gravitación. En efecto **¿qué es lo que produce realmente la atracción gravitacional?**

Albert Einstein en 1915 elaboró la que hoy conocemos como la **“Teoría de la Relatividad general”** y postuló que la fuerza gravitacional se debe a una **“curvatura del espacio – tiempo”**.

Considerando que la “teoría cuántica relativística” a tenido éxito en explicar la naturaleza de las otras fuerzas fundamentales, parece “natural” suponer que métodos similares podrían ser aplicados a la gravedad.

En efecto, se ha pensado en el **“Gravitón”**, como el bosón responsable de la fuerza gravitatoria, *pero hasta ahora no se ha podido detectar en forma experimental una partícula que reúna las características señaladas por la teoría.*

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



Cuadro comparativo relativo a las fuerzas fundamentales

Interacción	Intensidad Relativa	Alcance	Partícula Mediadora
Nuclear Fuerte	1	10^{-15} m	Gluón
Electromagnética	0,0073	Largo	Fotón
Nuclear Debil	10^{-9}	Muy corto	W; Z
Gravitatoria o Gravitacional	10^{-38}	Infinito	¿Gravitón?

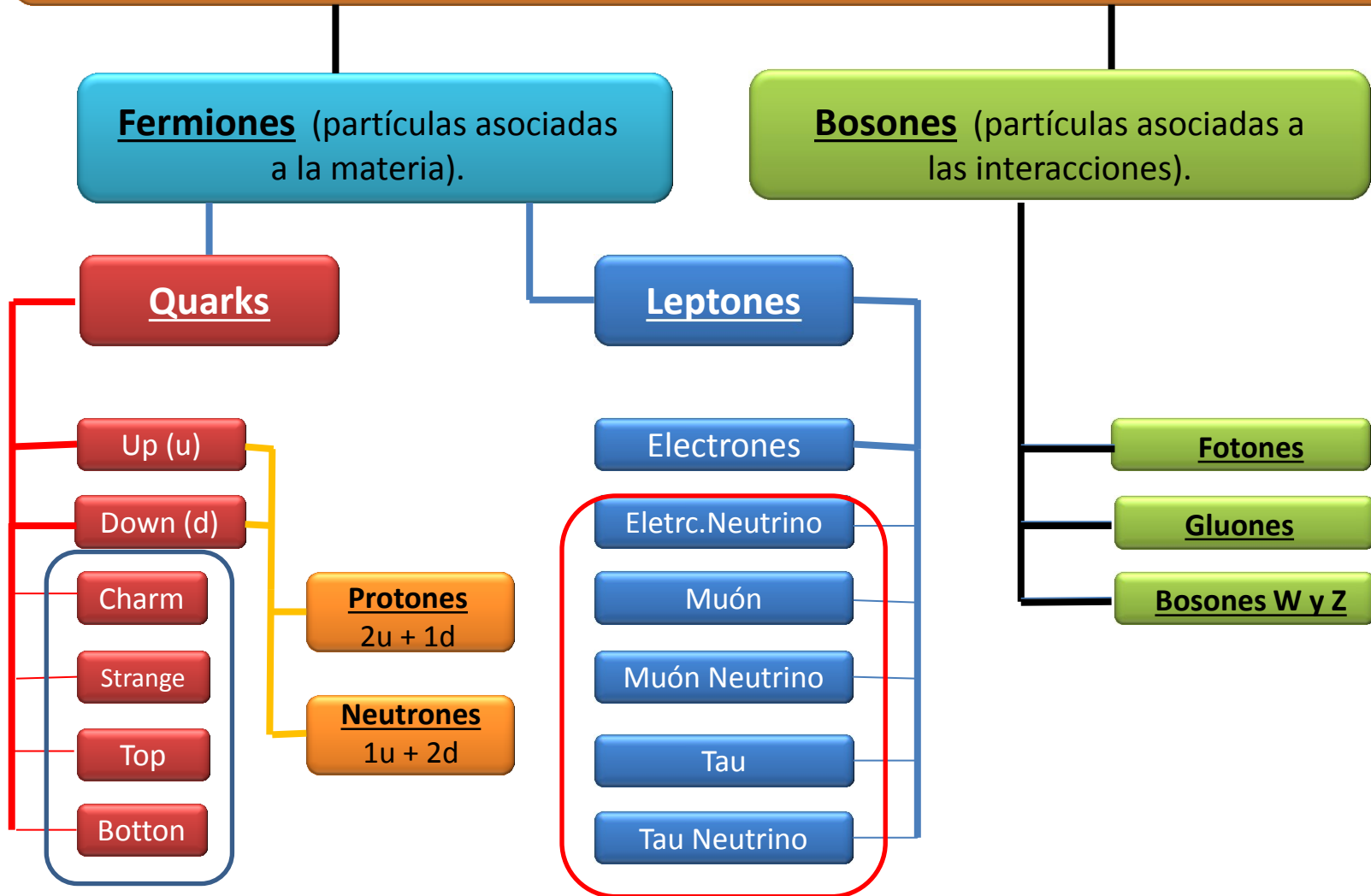
El modelo descrito hasta ahora, como “Modelo Atómico Estandar”, junto con todo su sustento matemático y la comprobación experimental, es el que se corresponde con la materia existente en la actualidad en todas sus formas.

No obstante los “físicos” han continuado con sus investigaciones experimentales y las hipótesis teóricas que justifican sus hallazgos.

En efecto, la teoría ha previsto y la experimentación ha confirmado, la existencia de seis tipos diferentes de “quarks”, denominados de forma totalmente *arbitraria y caprichosa* por sus descubridores como: **up** (arriba), **down** (abajo), **charm** (encanto), **strange** (extraño), **top** (cima) y **bottom** (fondo).

Asimismo, la teoría y la experimentación señalan la existencia de cinco “leptones” mas, que se agregan al conocido **electrón**: el **muón**, el **tau**, el **electrón neutrino**, el **muón neutrino** y el **tau neutrino**.

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.



Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa→	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre→	up	charm	top	photon
Quarks	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	down	strange	bottom	gluon
Leptones	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	fuerza débil
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	electron	muon	tau	fuerza débil
				Bosons (Fuerzas)

En física de partículas, se afirma que a cada una de ellas le corresponde una “antipartícula” tal, que posee la misma masa pero con carga eléctrica opuesta. Asimismo la extensión de este concepto a la materia, define la “antimateria”.

Hemos introducido como partículas materiales, la existencia de seis (6) tipos de **quarks** y otros seis (6) tipos de **leptones**. Se deben agregar además a los **doce (12) fermiones** anteriores otras **doce (12) antipartículas** correspondientes.

En total son veinticuatro (24) partículas subatómicas.

Pero solo los dos primeros **quarks**, **up y down**, integran normalmente las partículas nucleares estables y de manera similar, solamente el clásico electrón, es el **lepton** que forma parte de todos los átomos existentes.

La aclaración necesaria es que las veintiuna (21) partículas “sobrantes”, predichas en la teoría y halladas en la experimentación, solo tienen existencia durante tiempos “extremadamente cortos” (10^{-43} a 10^{-6} segundos).

Estos valores son compatibles con las mas modernas teorías cosmológicas (Big bang) en cuanto a la explicación del comienzo del universo.

Aclaramos que se conocen como “hadrones” las partículas subatómicas que se forman con la unión de quarks y antiquarks. Estas partículas experimentan la “interacción fuerte”.

Estos se pueden subdividir en: Bariones y Mesones.

Los Bariones son fermiones formados por tres quarks (protones, neutrones,...).

Los Mesones están formados por un quark y un antiquark (piones, kaones,etc,...)

Afirmamos finalmente que el “**Modelo Estandar**” descripto, es la concepción actual que se tiene de la constitución de la materia.

Se abren una gran cantidad de interrogantes, muchos de ellos sin respuesta.

Complejos planteos teóricos y avanzadas investigaciones futuras confirmarán que esto sea así, o bien que nos encontremos ante nuevas y sorprendentes conclusiones.

Modelo Atómico Estandar (actual) – Partículas Subatómicas Fundamentales.

Fermiones (partículas asociadas a la materia).

Bosones (partículas asociadas a las interacciones).

Quarks

Up (u)

Down (d)

Charm

Strange

Top

Botton

Protones

$2u + 1d$

Neutrones

$1u + 2d$

Leptones

Electrones

Eletrc.Neutrino

Muón

Muón Neutrino

Tau

Tau Neutrino

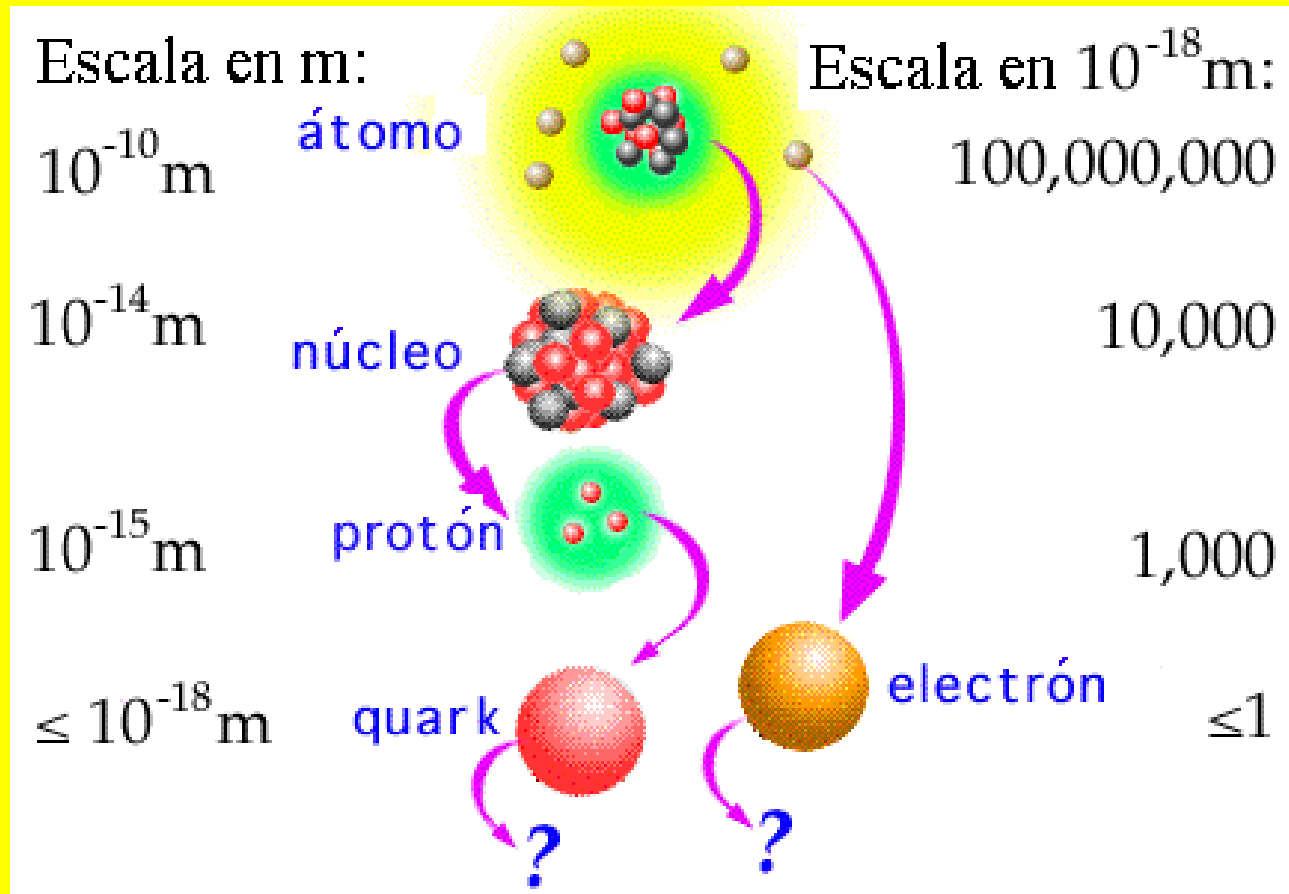
Fotones

Gluones

Bosones W y Z

Bosón de Higgs ¿...?

Resumen de las medidas de las partículas subatómicas.



Agregado el 8 de Octubre de 2013:

En el diario “La Nación” de la fecha aparece la noticia que sigue:

“El Nobel de Física fue para los descubridores de la "partícula de Dios”

“Peter Higgs y François Englert postularon la existencia de la partícula subatómica conocida como Bosón de Higgs”

“ESTOCOLMO.- El físico belga François Englert y el británico Peter Higgs ganaron hoy el Premio Nobel de Física 2013 por haber postulado la existencia del Bosón de Higgs, conocido como "partícula de Dios", anunció la Real Academia de Ciencias de Suecia.”



“En su fallo, la institución argumentó que ambos reciben este galardón por "su descubrimiento teórico de un mecanismo que contribuye a nuestro entendimiento del origen de las partículas subatómicas con masa". "La teoría reconocida es una parte central del modelo estándar de física de partículas que describe cómo está construido el mundo", dijo la Real Academia Sueca de Ciencias en un comunicado. “

. . . sigue

Sigue la noticia:

"Según el Modelo Estándar, todo, desde las flores a la gente, desde las estrellas a los planetas, consiste de unos pocos bloques: partículas de materia", añadió.

“Englert, junto al físico belga Robert Brout, fallecido en 2011, por una parte, y Higgs, por la suya, predijeron en 1964 al mismo tiempo y de manera independiente la existencia del bosón, la partícula que, al interactuar con otras, hace que "adquieran" una masa determinada.”

“Casi cincuenta años después, el Centro Europeo de Física de Partículas (CERN) anunció en julio pasado la confirmación experimental de que el bosón existe.

En mayo pasado, los científicos obtuvieron el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica por su descubrimiento.”

“Englert nació en 1932 y ejerce en la Universidad Libre de Bruselas, mientras que Higgs nació en 1929 y trabaja en la Universidad de Edimburgo (Gran Bretaña).

Tras recibir la noticias, Higgs admitió hoy sentirse "abrumado", según difundió en un comunicado la Universidad de Edimburgo (Escocia), donde da clases de física teórica.”

. . . Y continúa la noticia.

Muchas Gracias por su atención

Se sugiere hacer comentarios y aclaraciones
sobre estos temas

FIN