

**<> EL MICROCOSMOS. EL ÁTOMO Y LAS RADIACIONES.**

Índice de este Apartado:

- > EL ATOMO.
  - = ELEMENTOS.
  - = IONIZACION.
  - = ISÓTOPOS.
  - = FISIÓN Y FUSIÓN.
  - = PANORAMA GENERAL DE LAS PARTICULAS ELEMENTALES.
    - LOS QUARKS
- > LAS RADIACIONES.
  - = RADIACIONES ATOMICAS.
    - RAYOS ALFA.
    - RAYOS BETA.
  - = RADIACIONES ELECTROMAGNETICAS.
    - RAYOS GAMMA.
    - RAYOS EQUIS.
    - ULTRAVIOLETA.
    - LUZ VISIBLE.
    - INFRA-ROJO.
    - MAS ALLA DEL INFRAROJO.
  - = LOS RAYOS CÓSMICOS.
  - = INVESTIGACION Y APARATOS.

He aquí en última síntesis la clave de todo: lo infinitamente pequeño en acción. Efectivamente, es el átomo y sus efectos, o fenómenos por debajo de él producidos, con sus partículas, y de inmediato por encima, con las formaciones de átomos en moléculas que integran el primer escalón de los compuestos químicos, la base de todos los fenómenos que sabemos, de la vida y del Universo.

En los acontecimientos del átomo palpitante que se hace valer combinándose con otros y que emite mensajes en forma de energía o partículas, radiación, se basa directamente la investigación y técnica no solo astronáutica, sino todas en general, amén de que en última instancia la vida es consecuencia de tales combinaciones atómicas.

El hombre vive solo de una comunicación entablada por la dualidad, de la que forma parte, individuo-mundo que lo rodea, y que le llega a través de unos sentidos. Estos últimos funcionan siempre captando los mensajes diversos que son en definitiva procedentes de otros átomos bajo determinada condición. El órgano de la vista es sensible a determinados mensajes, exactamente a longitudes de onda o frecuencias que átomos ajenos ocasionan en su estado conocido; así sabemos que el color verde es un mensaje distinto al color rojo y por tanto su procedencia emisora es identificada y distinguida. Los oídos captan otras vibraciones en otras gamas. El gusto identifica moléculas con sus células sensibles, formadas de la bioquímica adecuada que la evolución le dotó, compuestos o elementos de átomos que en el archivo del cerebro, como el resto de los sentidos, son comparadas en el recuerdo y sabe si proceden de un alimento u otra entidad. Y el olfato hace otro tanto o parecido. El tacto es el más primitivo sentido que hace su averiguación también por contacto directo o físico.

En el espacio, en la investigación, en la profundidad de la obra del hombre, estos tentáculos de comunicación se prolongan, multiplican y reproducen de modo artificial cuando no es posible el natural. En el espacio podemos investigar, llegar a conocer, por los dos primeros sentidos referidos, esto es, vista y oído, principalmente pues las visitas personales del hombre a la Luna y planetas también se pueden considerar en el sentido del "tacto" y las técnicas de captación del viento solar y campos de radiación como propias de "olfato" y "gusto".

No hay ciertamente ruidos en el vacío, pero el oído espacial son los sistemas de radio que captan las longitudes de onda que sí son traducibles a señales audibles. También otros mensajes, normalmente ciegos el hombre a ellos, son traducidos por ingenios como las fotografías ultravioleta (UV), etc.

Vista y oído son en astronomía, respectivamente, telescopio con la luz, IR, UV, y radiotelescopio con ondas de radio; en el fondo, luz y ondas de radio son de origen común y proceden de diversos estados del átomo causante, o sea, que son de diferentes longitudes de onda o frecuencias emitidas por el átomo. El oído humano capta entre los 20 y 20.000 ciclos por segundo, teniendo por límite respectivamente los infrasonidos y ultrasonidos, y puede distinguir 1.500 tonos y 350 tipos de volumen.

Asimismo puede considerarse que la investigación de muestras de meteoritos y piedras lunares, etc., es un método de investigación por "gusto" o "tacto", pero fundamentalmente esta investigación es consecuencia de las primeras cuando se llega a ella.

Es así, sabiendo captar y traducir las señales de los átomos, como se sabe el origen, y lo que allí ocurre, de los planetas, estrellas, etc., llegando a los conocimientos que hoy se tienen ya no solo de ellos propiamente sino también inherentemente de nosotros mismos.

La astronáutica lo que hace es posibilitar en lo ideal tal investigación yendo sobre el propio terreno de los cuerpos celestes o acercándose a ellos, captando de la mejor manera posible sus mensajes.

Aquí, el tacto, el gusto o el olfato espaciales se hacen realidad, pues se entabla a veces el contacto directo que precisan (análisis químicos, fragmentación del terreno, etc). Para el oído, como se decía, hay que hacer uso de un medio que es la radio. El sonido, fenómeno por el que el cerebro a través del oído se comunica receptivamente se propaga en medios elásticos con caracteres integrantes de un tono, timbre e intensidad. Pero lo podemos codificar en mensajes que no necesitan de un medio no vacío para circular o propagarse y que pueden ser reconvertidos; es la radio. El oído humano capta entre 16 a 20 y 20.000 ciclos por segundo de vibración, o sea, entre 16 hercios y 20 kilohercios; los animales rebasan esos límites con notables diferencias según especies. Mas allá de la última cifra están los ultrasonidos y por debajo de la primera los infrasonidos. La velocidad de propagación del sonido depende del medio de difusión y es de, por término medio, 335 m/seg en el aire, 1.460 m/seg en el agua, 3.840 en la madera y 6.000 en la piedra; depende pues de la densidad de masa de la materia en razones directas.

En cambio el medio de propagación como ahora veremos del que hace uso el sistema de la vista, aunque no es exclusivamente él quien detecta sino de una ínfima parte, (es traducible no obstante el resto con medios técnicos) se propaga en el vacío o medios de materia en situación de normal estabilidad y no excesivamente densos (opacidad).

En realidad, se insiste, todo es comunicación en efecto o consecuencia.

Lo que ahora en definitiva se establece, de lo más elemental a todas luces, no es sino lo necesario para emprender y comprender el estudio de los medios astronáuticos y aparecerá en cualquier estudio de principios en la formación básica de cualquier estudiante. Además queda aquí el tema seccionado para solo destacar lo que se opina más indicado para comprender y por ende justificar las técnicas e investigaciones astronáuticas.

## > EL ÁTOMO

El átomo, como es sobradamente sabido, es la unidad básica primaria de los elementos químicos que son a su vez las unidades que en infinitas combinaciones constituyen todo lo conocido de la materia, sea viviente o inerte, fluido o sólido, etc. Sin adentrarnos en la historia de las distintas teorías y modelos atómicos, sus evoluciones e investigadores, de un modo general, se sabe que el átomo está constituido por las llamadas partículas atómicas en que puede ser dividido por física en determinadas circunstancias.

De modo general, puede decirse que químicamente el átomo es indivisible (que es lo que significa en griego) y estable y se constituye en grupos de ellos formando un elemento, o en combinación de varios distintos o iguales formando moléculas.

Las dimensiones del átomo son variables pero siendo solo el mayor 5 veces el más pequeño. Tenemos que expresar su diámetro en la cifra de  $10^{-8}$  cm, o sea alrededor de 1 Å (ángstrom), siendo éste la diezmillonésima parte del milímetro. El núcleo del átomo constituye solo la diezmillonésima parte a su vez del Å y es lo más pesado del mismo; si el átomo tuviera 100 m de diámetro, el núcleo tendría solo 2 cm.

El átomo está constituido por una combinación de partículas opuestamente cargadas, o sea positiva y negativamente, y otras neutras. A grandes rasgos se integra por un núcleo a base partículas cargadas positivamente, llamadas protones (P) y otras neutras denominadas neutrones (N), ambas en conjunto llamadas nucleones (de número másico -designado por A-

igual a la suma de ellos dos) en torno al cual giran una variable cantidad de otras partículas de menor peso, de carácter indivisible y de carga negativa llamadas electrones (e-). La carga del electrón es de  $1,6022 \times 10^{-19}$  culombios y su masa de  $9,1094 \times 10^{-31}$  Kg, o bien más propiamente 0,000511 GeV (en reposo).

Las cargas negativas y positivas se atraen mutuamente pero con otras de igual signo se repelen. Así se mantienen dando vuelta en órbita los e- en un equilibrio entre la atracción de los P y la opuesta energía centrífuga.

El protón es una partícula más pesada que el e- pero de carga opuesta equivalente. Su masa atómica es de 1,00724 y su vida media de  $10^{33}$  años (también se cita  $10^{29}$ ). El número de e- y también paralelamente de protones da lugar a la designación del número atómico (Z) de un elemento; ejemplos: Z del hidrógeno = 1 (o sea que tiene 1 e-); Z del oxígeno = 8, etc.

Los neutrones son de masa parecida a los protones (un poco más: 1,00895) pero son eléctricamente neutros pero la distribución eléctrica se muestra en el centro ligeramente positiva y en su superficie negativa, siendo en suma neutro; todos los átomos tienen neutrones excepto el de hidrógeno. Su spin es  $\frac{1}{2}$ . El número de neutrones (N) es igual al número másico A menos el atómico Z; o sea  $N=A-Z$ . Dada su falta de carga, al no ser repelidos, se utilizan idóneamente para el bombardeo de átomos en reactores.

Tanto el neutrón como el protón están formados a su vez por otras partículas menores, fundamentales o básicas, llamadas quarks; el neutrón fue descubierto en 1932 por Chadwick. Por ejemplo, el protón está integrado por 2 quarks up y 1 down unidos por 3 gluones (éstos actúan como pegamento para unirlos). Cada neutrón, por su parte, está formado por un quark up y dos down. A pesar que la masa de los componentes del protón, los citados quarks suma 12 MeV, la total asciende a 938 porque el protón contiene energía almacenada por los gluones y la propia energía cinética de éstos.

El átomo como sea que en conjunto es eléctricamente neutro ha de tener un número de e- igual al de P para sostener el equilibrio. Los e- giran, por así decir, en órbitas elípticas, o sea trazando elipses, de excentricidad variable y en distintos planos rotatorios, a la vez que giran sobre si mismos, poseyendo pues un momento angular mecánico o spin y un momento magnético. Su naturaleza es dual, en tanto que partícula y ente ondulatorio; en este último caso su propiedad le permite atravesar la materia. Otras partículas, como el protón y el neutrón, también tienen su propio spin, de un valor predeterminado  $\frac{1}{2}$ , valor también igual para el electrón.

El tamaño del átomo nos lo da la actividad más externa de un electrón y el espacio entre las partículas es vacío. El peso del átomo se centra en un 99,9 % en el núcleo y sin embargo todo su tamaño es de 10.000 a 100.000 veces superior al mismo núcleo. Esto significa que la equivalencia de densidad en el núcleo es de 300.000.000 Tm por  $\text{cm}^3$ .

Verdaderamente son un microcosmos. Los e- son algo así como planetas girando en torno al sol (núcleo) a la vez que sobre si mismos. Los e- son de masa 1.836,104 veces menor que el protón y pueden girar, según Bohr, en 5 tipos de órbitas fijas llamadas desde dentro afuera K - L - M - N - O alejadas progresivamente y que constituyen niveles energéticos. En la primera órbita puede haber hasta 2 e-. En la L hasta 8. En la M hasta 18. En la N, 32 de máximo. Y en la O hasta 50 e-. El átomo natural más pesado tiene 92 e- y es el del Uranio. La velocidad de giro orbital es cercana a la de la luz y la velocidad de salto de un nivel de energía a otro de un electrón es de  $10^{-14}$  seg.

Cada órbita o nivel posible de energía, menor cuanto más cercano al núcleo, contiene un número cuántico principal n y es respectivamente de 1, 2, 3, 4 y 5 y de cada una se tiene un máximo de e- de 2 por n elevado al cubo que es el resultado de las cifras anteriores;  $2 \times 1^2=2$ ,  $2 \times 2^2=8$ ,  $2 \times 3^2=18$ , etc. Cuando se mueve un electrón, cuanto más rápido mayor frecuencia y menor longitud de onda.

Otros números cuánticos son el azimutal (l) por el que se mide la excentricidad de la elipse orbital y el número cuántico magnético de inclinación del plano de la órbita. El azimutal (l) está entre cero y n-1, o sea  $0 \leq l \leq n-1$ . La excentricidad es máxima para  $l=0$  y la órbita es circular cuando  $l=n-1$ . El magnético puede ser desde -l a +l.

Del número de e- y claro está también de protones depende que el átomo forme el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, carbono, helio, etc. Es decir, los elementos químicos se diferencian por estas variaciones y son ellas las que determinan sus cualidades y comportamiento químico.

El átomo más elemental es el de hidrógeno. Existe un total de 92 átomos distintos, o elementos, en modo natural, siendo el más pesado el de Uranio; a temperatura normal el

número de elementos es de 94. El hidrógeno es el menos pesado de todos y su masa es la unidad, sirviendo por tanto de patrón. Así, cuando se dice que la masa atómica del oxígeno es 16, equivale a decir que en 1 gramo de oxígeno hay tantos átomos como en 16 de hidrógeno que será menos pesado pues. Se dice entonces del llamado átomo-gramo.

El número de masa atómica es aproximadamente algo más pesado del doble del número atómico, pues hay igual masa de protones que de neutrones prácticamente. El hidrógeno se compone de 1 e- solo, que gira en torno a un protón que hace en solitario de núcleo. Viene luego el helio con 2 e-, ambos en la primera órbita y 2 P y 2 N de nucleones. Está a continuación el litio que tiene 3 e- en total, 2 en la 1ª órbita que según el correspondiente número cuántico no pueden ser más y 1 e- en la 2ª órbita. Tras él hallamos al berilio con 2 e- en la primera y 2 e- en la segunda. Y así hasta los 92 elementos que hay en la naturaleza y que se expresan en el denominado sistema periódico. Al mezclar los átomos de un elemento con otro, algunas veces, dependiendo de los propios elementos, los e- de la órbita más externa se ganan o pierden por parte de algunos átomos; los e- libres en un elemento o compuesto determinado (un cable de cobre por ejemplo) constituyen en movimiento el fenómeno de la electricidad. Los átomos, interactuando entre sí, que nivelan los niveles externos forman *moléculas*. Los electrones de la última envuelta, la más alejada del núcleo, se denominan *valencia* de ese átomo. Los átomos más estables en tal capa externa, toda ocupada en su nivel por electrones, tienden a no combinarse. Pero en la mayoría tal capa está incompleta.

Los elementos que nunca intercambian e-, o sea que no reaccionan con ningún otro, son llamados gases nobles que resultan pues inocuos totalmente y son: Helio (He), Neón (Ne), Argón (A), Kriptón (Kr), Xenón (Xe) y Radon (Rn). Tienen en su órbita más externa 8 e-, al completo.

La mayor o menor actividad o movimiento de los átomos en un cuerpo determina la mayor o menor temperatura del mismo sobre una escala llamada del cero absoluto (-273,15°C o 0°K). El lugar más frío conocido del Universo está en el espacio profundo donde hay temperaturas de solo 3°K, posiblemente mínimo calor residual del Big Bang o primigenia explosión que se cree que dio lugar al Universo. Pero en laboratorio es posible acercarse al cero absoluto, con diversas técnicas que ralentizan el movimiento atómico, hasta 20 nanogrados Kelvin, de modo que se dio lugar con ello a una especie de nuevo estado de la materia, el quinto, que no es sólido, ni líquido, ni gaseoso, ni plasma, si bien no es quizá un término muy académicamente exacto el de nuevo estado de la materia. Tal situación o preciso estado de la materia es una especie de particular condensación en un superátomo que fue predicho por Einstein y el físico hindú Satyendra Nath Bose en el año 1920. Se habla así del *condensado Bose-Einstein*. Tal estado se consiguió con temperaturas muy bajas por vez primera durante 15 min con más de 2.000 átomos de gas de rubidio polarizado, de un diámetro de 20 micrones, el 5 de junio de 1995 en la Universidad de Boulder, Estados Unidos. Las características de la materia en tal estado, derivado del hecho de que los átomos se vuelven extraordinariamente lentos, es algo nuevo y de efectos cuánticos distintos al átomo en estado de mayor temperatura. Se dice entonces que su comportamiento, el de tales átomos al superponerse, está más cerca del de las ondas. Los átomos aptos para este condensado son curiosamente solo los que tienen un número par de, sumados, neutrones, protones y electrones. El comportamiento dinámico del conjunto de tal gas es como el de una sola partícula; como si todo fuera una sola.

En los principios del 2004 se informó que los físicos americanos habían creado un sexto estado, denominado *condensado fermiónico*, también con temperaturas cercanas al cero absoluto (solo una milmillonésima de grado por encima), con ½ millón de átomos de potasio 40, agrupados a pares y de especial conducta, que tienen así características de un sólido a temperatura ambiente. Tiene interés ello en tecnologías de superconductores.

### = ELEMENTOS.

Los distintos tipos de átomos resultan de la combinación en distintas cantidades de sus componentes principales, las partículas: electrones, protones y neutrones. La lista de los distintos átomos o elementos forman la llamada Tabla Periódica de los Elementos (o tabla de Mendeleiev), a cuyo gráfico nos remitimos en la cita de las principales características de cada uno (número atómico, masa, carga, etc.).

Todos los elementos naturales proceden de la sucesiva fusión nuclear de los dos únicos elementos primitivos, el hidrógeno y el helio, ocurrida en las estrellas, proceso que facilita progresivamente elementos cada vez más pesados y que se esparcen por el espacio cuando

una estrella muere explotando, la del tipo llamada supernova.

En total, de 94 elementos que se mantienen a temperatura normal, hay 11 que son gases, 2 líquidos, 72 metales y otros 9 sólidos. El resto son los transuránidos. En realidad, la cita de los 94 incluye al plutonio que, creado, también se han hallado trazas del mismo en la naturaleza; tiene una veintena de isótopos de los que el más estable es el 244, si bien se considera más interesante el 239 (vida media de 24.130 años). Hasta 2011, se habían producido unas 1.500 Tm de plutonio y con el mismo se fabricó la bomba atómica que destruyó Nagasaki en 1945, siendo desde entonces utilizado tanto para el armamento como para las centrales nucleares; es un metal de raras y excepcionales características, y también muy peligroso para el hombre y el medio ambiente, e incluso deteriora los propios misiles en los que se usa como material en su carga útil nuclear.

El más elemental y ligero del Universo es el hidrógeno y también el más abundante. El siguiente en la tabla, el helio es de los más puros. Los más comunes en superficie terrestre y atmósfera son el oxígeno y nitrógeno. El más raro en la Tierra es el astatino. Entre los metales, el más ligero es el litio. El gas más pesado es el radón. El más estable el telurium y el menos el isótopo 5 de litio. El que menos isótopos tiene es el hidrógeno y el que más el cesio y el xenón. El más denso es el osmio. El más duro el carbono. El más tóxico el radio. El de más alto punto de fusión el tungsteno y el más bajo el helio. El más dúctil es el oro. El más resistente a la tracción el boro. El más caro de todos es el californio.

Las combinaciones de diversos átomos, iguales y distintos, dan lugar a las formaciones moleculares. Las moléculas se forman al interactuar los átomos para llenar niveles de energía externos mediante la fuerza llamada *enlace químico* (iónico o covalente). En tales reacciones, o bien se adquiere energía o bien se libera, respectivamente llamadas endotérmica o exotérmica. Si de una molécula sale un protón que es adquirido por otra, se dice que hay una reacción química. La molécula que lo suelta es un ácido y la que lo recibe es una base; ejemplo de ácido, el sulfúrico, y de base la lejía. En la química de los cohetes, se habla de oxidación y reducción cuando en la reacción química, una molécula o elemento toma electrones de otro, y se dice que lo oxida pues es el oxígeno el máximo exponente del caso. Tal sustracción a un elemento de los e- de otro es lo que se denomina oxidación y tiene su reflejo contrario en el proceso de reducción.

Además de los 92 elementos naturales citados, desde 1940 el número de los mismos se ha incrementado en lista sin finalizar con los llamados elementos pesados transuránidos (neptunio, plutonio, etc.), creados por los físicos en laboratorio y cuya vida suele ser breve, tanto más cuanto más pesado hasta ser de solo unas milésimas de segundo, aunque no hay regla directa a la proporción; su desintegración produce elementos menos pesados también de vida breve.

Los últimos hallados, o sea los isótopos creados en laboratorio a partir del número atómico 93, o transuránidos, fueron conseguidos por tres centros, la Universidad americana de Berkeley, el Instituto ruso-americano de Dubna y el Instituto de Investigación de Iones Pesados de Darmstadt en Alemania a partir de los años 40 del siglo XX. Son tales los siguientes:

Nº atómico	Nombre	Creado en	País	Vida media o máxima	Observaciones
93	Neptunio (Np)	1940	USA	2.140.000 años	
94	Plutonio (Pu)	1940	USA	24.130 años	El isótopo Plutonio 249
95	Americio (Am)	1944	USA	433 años	
96	Curio (Cm)	1944	USA	126,5 días	
97	Berkelio (Bk)	1949	USA	4,5 horas	
98	Californio (Cf)	1950	USA	45 años	
99	Einstenio (Es)	1952	USA	20,5 días	
100	Fermio (Fm)	1952	USA	20,1 horas	
101	Mendelevio (Md)	1955	USA	1,3 horas	
102	Nobelio (No)	1958	USA	55 seg.	
103	Lawrencio (Lr)	1961	USA	4,3 seg.	
104	Rutherfordio (Rf)	1969	USA-URSS	4,5 seg	
105	Dubnio (Db)	1970	USA-URSS	34 seg.	Peso atómico 262.
106	Seaborgio (Sg)	1974	URSS	21 seg.	Peso atómico 263.

107	Bhorio (Bh)	1981	URSS	0,44 seg.	Peso atómico 264.
108	Hassio (Hs)	1984	Alemania	9 seg.	Peso atómico 265.
109	Meitnerio (Mt)	1982	Alemania	70 miliseg.	Peso atómico 266, 268.
110	Darmstadtio (Ds)	1994	Alemania	1 miliseg.	Peso atómico 269.
111	Roentgenio (Rg)	1994	Alemania	1,5 miliseg.	Peso atómico 272.
112	Copernicio (Cn)	1996	Alemania	0,24 miliseg.	Peso atómico 277.
113	Nihonio (Nh) <i>Ununtrium</i>	2003	Japón	20 seg.	Peso atómico 286.
114	Flerovio (Fl) <i>Ununquadio</i>	1998	USA-URSS	2,6 seg.	Peso atómico 287.
115	Moscovio (Mc) <i>Ununpentium</i>	2003	Rusia	30 seg.	Peso atómico 288.
116	Livermorio (Lv) <i>Ununhexio</i>	1999	USA	0,12 miliseg.	Peso atómico 293.
117	Tenesino (Ts) <i>Ununseptium</i>	2010	Rusia-USA	78 miliseg	Peso atómico 293.
118	Oganeso (Og) <i>Ununoctium</i>	1999	USA	1 miliseg.	Peso atómico 294.

La consecución de estos elementos se logra con el bombardeo atómico. A partir del 104 se llaman superpesados. El 105, Dubnio (Db), logrado en Dubna por los soviéticos en 1967, fue dado a conocer en 1970 y fue denominado inicialmente Nielsbohrio; los americanos también lo consiguieron y lo llamaron Hahnio; también recibió provisionalmente el nombre de Juliotio. El 106, Sg o Seaborgio, se consiguió en 1974 bombardeando californio 249 con iones de oxígeno 18. El 107, por ejemplo, fue descubierto en 1976 en Dubna y detectado en Darmstadt en 1981, siendo conseguido al fusionar cromo 54 con bismuto 204 a 262 MeV. El elemento 108, el Hassio (nombre latín del estado alemán de Hesse), fue descubierto en 1984 por el Gesellschaft für Schwerionenforschung utilizando magnesio-26 para bombardear curio-248. El 109 fue logrado agosto de 1982 mediante el bombardeo de átomos de bismuto 209 con hierro 58. El 110 fue conseguido el 9 de noviembre de 1994 luego 10 años de investigación en el Instituto de Darmstadt, tras bombardear isótopos de torio y uranio con núcleos de calcio y argón; su degradación se produce transformándose en el isótopo 265 Hassio, 261 Rutherfordio y 257 Dubnio. El 114, integrado por 114 protones y 175 neutrones, fue dado a conocer en enero de 1999 y se creó en diciembre de 1998 en el Instituto ruso-americano de Dubna utilizando un bombardeo de átomos de calcio 48 sobre plutonio 244. El 116 y 118 se lograron en Berkeley bombardeando plomo 208 con iones de kriptón 86 con una energía de 449 megaelectrovoltios; el 118 tiene 118 protones y 175 neutrones, y el 116, resultado de la degradación del anterior, 116 protones y 173 neutrones. Fue repetida su creación en 2006.

A partir del 110, aun no hay nombres definitivos al redactar estas líneas. El 113 y el 115 fueron dados a conocer a principios de 2004, pero creados a mediados del año anterior, 2003. El 117 fue descubierto en Dubna por rusos y norteamericanos, según se anunció en mayo de 2010. Los nombres propuestos para los citados y el 118, respectivamente *nihonium*, *moscovium*, *tennessine* y *oganeson*, se relacionan con sus descubridores geográficos, Japón, Moscú y Tennessee, y el último con el físico ruso Yuri Oganessian.

La importancia de la consecución de los transuránidos radica en la creación de elementos estables superpesados de aplicación en nuevos materiales de caracteres novedosos e impensables.

#### = IONIZACION

Si comunicamos energía a un átomo, lo calentamos, y tal energía es suficiente de lo que necesita para elevar uno o varios e- más allá de la corteza del átomo o última órbita, entonces tal o tales escapan del átomo, dejándolo en consecuencia cargado positivamente en razón a la carga perdida. El salto de electrones hacia órbitas exteriores dota al átomo de una energía añadida pues, y cuando el electrón cae de órbita la pierde emitiendo o liberando tal energía.

Cuando los átomos pierden pues uno o más e- se dice que están ionizados y el conjunto, elemento o compuesto, fluido o sólido (aunque generalmente tiene más uso en fluidos) quedará formado por iones negativos, o e-, e iones positivos (resto de átomos ionizados).

Se trata generalmente, como se dice, de un fluido y más general aun de un gas,

bombardeado por elementos radiactivos que ahora veremos o por el calor necesario de una resistencia, por ejemplo. Esto en cuanto a su aplicación, pues el hecho se produce de común en la naturaleza en diversos órdenes, como el rayo por ejemplo.

La materia ionizada resultante es llamada plasma y en conjunto es eléctricamente neutra pero se hace un fácil conductor eléctrico como es lógico y puede ser direccionada o separada. También puede ocurrir que en vez de perder electrones el átomo los tome y quede pues ionizado igualmente pero en negativo (carácter no metálico). La aptitud para ganar o perder e- se llama *valencia* de un elemento.

Según el número de electrones y su posición se puede producir la llamada reacción química. Un átomo que tenga todos los electrones en los niveles de mínima energía será estable. De no ser así, irá rellenando por orden los niveles desde los inferiores a los exteriores. Cuando un elemento toma un e- se le llama reductor y cuando lo cede oxidante. En esto se fundamenta la propulsión química de los cohetes que luego veremos.

Otra cuestión del calentamiento de los átomos es que así pueden ser comprimidos, si bien la liberación de las cargas eléctricas supone un nuevo nivel de repulsión, el eléctrico, que ha de ser superado con mayor presión. La presión típica de una sopa de electrones es de  $500 \text{ g/cm}^3$ . El límite para la pérdida de electrones de un átomo ocurre cuando la densidad es de entre  $30$  y  $50 \text{ g/cm}^3$ , de modo que los electrones más externos se hacen tangenciales. Con una densidad de  $0,5$  a  $1 \text{ Kg/cm}^3$  todos los electrones habrán huido del átomo y se habrá formado la llamada *sopa* que tiende a oponerse a la compresión. En laboratorio el límite de compresión es de  $1 \text{ Kg/cm}^3$  aproximadamente. Pero en forma natural en las estrellas hay mayores niveles.

La medida utilizada para valorar la ionización es la unidad de Röntgen y se define como la cantidad de radiación que ioniza  $1 \text{ cm}^3$  de aire en condiciones normales.

### = ISÓTOPOS

Puede ocurrir que un elemento tenga igual número de protones y por tanto también de electrones pero distinta cantidad de neutrones, o sea distinto número másico solamente, caso en que se le llama isótopo de ese elemento.

Tales resultan inestables en algunos casos y tienden a estabilizarse emitiendo partículas denominadas radiactivas, partículas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , cuyas dos primeras como ya veremos son de naturaleza corpuscular atómica y la tercera es de naturaleza propiamente electromagnética de energía fotónica. Otros isótopos no son así.

Los elementos radiactivos aplicados a otros determinados pueden por el bombardeo de neutrones obligarlos a emitir también partículas al ocasionar la ruptura de los núcleos en los choques, originando lo que se denomina una reacción en cadena pues el fenómeno se repite sucesivamente; interviene principalmente el neutrón como se dice.

En realidad la emisión radiactiva natural es la forma en que un elemento dado se transmuta o va progresivamente desintegrándose. Es decir, se transforma en otro elemento inferior en la escala. Cuando un núcleo radiactivo emite una partícula  $\alpha$  pierde en realidad 4 partes del núcleo (2 P y 2 N) que es lo que constituye tal partícula. Si emite una  $\beta$  en realidad emite una partícula e- o su antipartícula.

La desintegración se efectúa en períodos de hasta muchos miles de años, según el elemento y considerada la reducción en la mitad. O sea, que al primer período se reduce a la mitad, al segundo otra mitad de esta última, es decir a la cuarta parte de lo inicial, etc.

Algunos isótopos como el Polonio 214 tienen un período de fracciones de milésima de segundo. Otros como el Uranio 238 tienen un período de 4.500 años. Conociendo pues el estado de desintegración de un elemento podemos averiguar su edad. Esto tiene gran interés para saber la edad de un árbol primitivo, terreno, etc., y su aplicación está no sola en la arqueología, como es conocido sobradamente, sino también en la astronáutica para el estudio de las rocas lunares, etc.

Los isótopos radiactivos son la principal base de la energía atómica y de las bombas atómico-nucleares. La energía atómica es infinitamente superior a la de combustión de carbón o derivados petrolíferos. Un kilogramo de uranio puede en un reactor nuclear en centrales producir la misma energía eléctrica en un día que 8 millones de kilogramos de carbón en una central térmica, dato que resulta revelador; otra cuestión es ya la más difícil comparación en materia de seguridad de ambos sistemas de producción de energía. Aun más, el aprovechamiento nuclear de la materia encierra enormes cantidades de energía: un solo gramo de materia comprende

potencialmente una energía equivalente a 25.000.000 de Kilovatios.

Los isótopos también se emplean en medicina (bomba de cobalto) y otros campos.

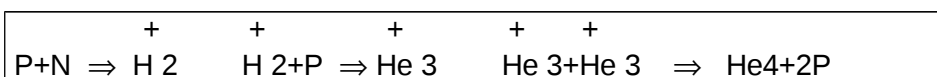
### = FISIÓN Y FUSIÓN

Se decía antes que cuando las partículas emitidas provocaban en otros núcleos la ruptura, y éstos a su vez otras, se establecía una reacción en cadena y se habla entonces de que se produce la fisión o escisión nuclear. Un bombardeo de neutrones sobre un núcleo lo rompe y produce otros neutrones que son los eslabones de la cadena citada y libera gran energía.

Si se eleva mucho la temperatura de un elemento en millones de grados se produce otro fenómeno que, si bien distinto, es de máximo interés. Es tal fenómeno el de fusión, y por el mismo se funden y recombinan las partículas de los núcleos desprendiendo una increíble energía. Este hecho tiene lugar en las estrellas con el hidrógeno y helio principalmente y también en las llamadas bombas H. El resultado aquí son núcleos más pesados y una liberación energética fabulosa, tal y como Einstein dejara sentado en la fórmula  $E=mc^2$  que indica que tal energía (E) equivale a la masa (m) del elemento por el cuadrado de la velocidad de la luz (c) que son casi 300.000 Km/seg.

En las estrellas ocurre en la reacción que núcleos de hidrógeno se combinan para formar núcleos de helio que es más pesado, emitiendo la enorme cantidad de energía electromagnética y de partículas que sabemos.

La reacción es así: 1 P se une a 1 N y constituye deuterio, isótopo del hidrógeno pues tiene el N de más; luego, al mismo se une un P más y forma helio 3, o sea 2 P más 1 N, que colisiona después con otro núcleo igual de lo que resulta la formación de helio normal con desprendimiento de 2 P.



El helio 3 no actúa sobre los protones pero si sobre si mismo. La reacción puede efectuarse a unos 10 millones de grados centígrados y se liberan enormes cantidades de energía.

Por cada gramo de hidrógeno en fusión se liberan cerca de 145.000 millones de calorías. Esta es la reacción base estelar que se sucede por los siglos y de la que recibimos energía, pero solo en una pequeñísima parte ya que la dispersión por la lejanía juega el gran papel de evitar que nos llegue demasiada y en lo que colabora la materia absorbidora con que se tope. Además, en el caso del Sol al menos, parte de la energía emitida interiormente es absorbida por capas más frías superiores.

### = PANORAMA GENERAL DE LAS PARTÍCULAS ELEMENTALES

Hasta ahora hemos visto de las partículas atómicas el electrón, el protón y al neutrón, que son las aparentemente principales, pero ellas no son todas las que se saben. De hecho, el protón y el neutrón no son las verdaderas partículas elementales porque están compuestos por quarks, que sí lo son.

Podemos hacer, no obstante, antes de enumerar otras partículas consideración de las antipartículas, sin las cuales no sería la cuestión enteramente conocida. Son estas partículas iguales pero de carga opuesta que se aniquilan al contacto, o lo que es lo mismo, la antipartícula gira con spin contrario a su correspondiente partícula. Así la antipartícula del e- es el positrón e+, de igual masa; ambas, al chocar se aniquilan liberando energía en forma de rayos gamma. La antipartícula del protón es el antiprotón -P. La del neutrón que no tiene carga se distingue porque su campo magnético está invertido. Un positrón que gire al rededor de un antiprotón será un átomo de antihidrógeno. Así existiría la antimateria que es en su forma natural desconocida pero cuya probable existencia puede considerarse quizá en algún lugar del Universo. La antimateria es exactamente igual que la materia pero con sus partículas componentes cambiadas de carga eléctrica; su comportamiento también es diferente. Generalmente las antipartículas pueden ser originadas en las colisiones nucleares naturales o provocadas. La creación de antimateria, suponiendo su almacenamiento en campos eléctricos y magnéticos, y mediante enfriamiento elevado, tendría su aplicación en algunos modelos teóricos de motor para propulsar naves



espaciales; de tal modo se ha calculado la equivalencia de la energía liberada por un gramo de antihidrógeno con otro de hidrógeno como la de 120 Tm de hidrógeno y oxígeno líquidos de un motor convencional. De otro modo, la posible existencia de antimateria en cantidad suficiente en algún lugar del Universo, el encuentro, por así decir, de un cuerpo de antimateria con otro de materia supone la aniquilación absoluta de ambos liberando gran energía.

En los procesos de desintegración de un neutrón, que puede ser partícula de bombardeo nuclear, se originan un  $P$  y un  $e^-$  así como una nueva partícula con masa casi inapreciable, de entre una millonésima y una cienmilésima la del electrón (hasta 1998 se creía que no la tenía), y sin carga denominada neutrino y designada por la letra griega  $\nu$  ( $\bar{\nu}$  el antineutrino es  $-\nu$ ). El neutrino es una de las más interesantes partículas y absorbe energía sin emitir señal o mensaje alguno, y que solo resulta afectado por la gravedad y la fuerza nuclear débil; fue predicha en el año 1930 por el alemán Wolfgang Pauli, bautizada por el italiano Enrico Fermi en 1933 y confirmada su existencia en 1956. Se dice que pueden cruzar nuestro planeta sin ser interferidas en su trayecto por otras partículas de la materia. Al apenas interactuar con la misma son de más difícil detección; se utilizan fotodetectores muy sensibles a grandes profundidades que emiten luz azulada (radiación Cherenkov) cuanto captan un neutrino que choca contra un electrón, neutrón o protón de agua. En tales choques se producen muones. También tiene naturaleza ondulatoria y tal dualidad no se entiende fuera de las leyes de la física cuántica, observando también cambios u oscilaciones en su recorrido hacia los tipos posibles definidos, asimismo llamados metafóricamente “sabores”, razón por la que se justifica la existencia de su masa. Tales cambios se definen como oscilaciones, de modo que por ejemplo los neutrinos solares se transforman de un tipo a otro en su camino desde el núcleo solar hasta la Tierra (se calcula que afluyen del Sol unos 60.000 millones por  $\text{cm}^2/\text{seg}$  en la Tierra, atravesando toda la materia hallada, saliendo del mismo sin demora al contrario de cualquier otra energía generada en el núcleo solar); esta cualidad de transformación no viene predicha por el denominado modelo estándar de campos y partículas, lo que hace que se piense en la necesidad de su modificación, pero explica al menos la existencia de su mínima masa (que se calculó –1995- en 500.000 veces menor que la del electrón). El cambio de “sabor” de un neutrino solar se produce tras cubrir los primeros 10.000 Km de trayecto, siendo a partir de aquí cuando hay tantas posibilidades que sea del sabor original como otro pues cambia sucesivamente el mismo en tal recorrido.

El gran interés por los neutrinos reside en la explicación de la vida de las estrellas donde su efecto se hace apreciable y de donde proceden además del Sol pues afluyendo continuamente (además, en menor medida, también los genera el propio planeta); además de las estrellas, principalmente de nuestro cercano Sol, proceden de los rayos cósmicos, y también tienen su origen en la misma creación del Universo (Big Bang). Otro interés está en el cálculo de su masa en todo el Universo para la explicación cosmogónica. Se cree que toda su masa supone ser igual a la misma de todas las estrellas visibles. Existen tres tipos de neutrinos identificados en tierra, del electrón, del muón y del tau; los del muón son resultado de la colisión en la atmósfera de los rayos cósmicos y se supone que se transfiguran en los otros dos tipos al cruzar el planeta, razón por la cual no fueron prontamente identificados en su momento. Atravesan la Tierra a razón de unos 1.000 (o 66.000, según otra fuente) millones por  $\text{cm}^2/\text{seg}$ , siendo solo unos pocos los que interfieren con partículas de átomos terrestres. Estos neutrinos solares son del tipo electrónico, en tanto que el generado en reactores nucleares terrestres son antineutrinos. La masa de los antineutrinos es similar a la de los neutrinos.

El muón ( $\mu$ ), observado por vez primera en 1936, es idéntico al electrón, pero de una masa más de 207 veces superior, llegando a ser nombrado como electrón pesado; la masa exacta del muón es en reposo 0,106 GeV. La vida media del muón es de solo 2,2 millonésimas de segundo y se desintegra en un electrón, un neutrino y un antineutrino.

Otro leptón, la partícula Tau, es mucho más pesada que el muón, de 1,78 GeV en reposo, y los neutrinos reciben también la subclasificación de tau, de muón y de electrón. La partícula tau puede convertirse en una quark, siendo la única de las partículas con tal característica. Generalmente la partícula tau se desintegra rápidamente en electrones, muones y otras partículas. La existencia del neutrino Tau fue confirmada en 2000.

Otro tipo de partículas son los mesones, de carga positiva cuando la tienen y masa entre 273 y 975 la del  $e^-$ . Tienen su papel en la fuerza nuclear fuerte. Su estudio inicial se basa en la disgregación de determinadas radiaciones de gran energía sobre la atmósfera terrestre. Sobre tal hecho se halló que cuanto más velocidad llegan más tardan en desintegrarse, dando lugar a la confirmación de la Teoría de la Relatividad de Einstein.

De un modo general, las partículas elementales se dividen en ligeras o *leptones*

(electrones, muones y neutrinos), intermedias o *mesones* (piones y kaones) y partículas pesadas de hasta unas 2.500 veces la masa del e-, llamadas *bariones* (nucleones, que son el protón y el neutrón, e hiperones lambda, sigma y xi). Mesones y bariones forman el grupo de los *hadrones* (que significa “fuerte”), y son partículas sobre las que actúa la fuerza nuclear fuerte. Tal fuerza lo que realmente son los quarks que forman las partículas. Los mesones están formados por un quark y un antiquark, y son de vida muy corta, tanto más si son muy pesados, con una media de  $10^{-24}$  seg.

Son estables el e-, el P y los neutrinos. Las demás, salvo el neutrón, tienen una vida inferior a los  $10^{-6}$  segundos, dando lugar al desintegrarse a otras partículas. Tienen carga negativa el e-, el muón y algunos hiperones. El resto son neutros. El neutrón tiene una vida de 14,8 min (exactamente 886,8 seg) considerado como partícula libre.

Hadrones y leptones pueden ser resumidas como partículas materiales **Fermiones** en razón a un spin  $\frac{1}{2}$ . Los fermiones tienen siempre spin fraccionario ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{2}$ ,  $\frac{5}{2}$ , etc.) en tanto que los bosones, que ahora veremos, tienen spin entero, como 1 o 2, o cero.

Otro tipo de partículas son los **Bosones**, cuya característica principal es que contienen las fuerzas de la naturaleza; es decir, interactúan entre las partículas elementales. Son el **fotón**, el **gluón**, el **gravitón** y las pesadas **W+**, **W-** y **Z<sup>0</sup>**; estas tres últimas fueron descubiertas en la primera mitad de 1.983. Todas ellas tienen spin 1, y salvo la W+ y W-, que tienen respectivas cargas positiva y negativa, tienen carga eléctrica cero. El fotón y el gluón no tienen masa en tanto que los W tienen 80,4 GeV (o 90 GeV, dato de 2012) y la Z<sup>0</sup> 91,1876 GeV; el fotón y el gluón no tienen energía en reposo. Es precisamente tal característica de no tener masa la que permite a los fotones ir a la velocidad de la luz.

La medida en electrovoltios (eV) para la masa de las partículas se define como la energía que toma un electrón al que se acelera en el vacío con un voltio de diferencia de potencial.

Las 4 fuerzas de la naturaleza son la gravedad, el electromagnetismo, la fuerza nuclear fuerte y la débil. Dado que la nuclear débil y el electromagnetismo tienen una estructura de interacción fundamental que resulta común, también se pueden resumir en 3 las fuerzas. En la gravedad interviene el citado gravitón que aun no ha sido aislado, detectado o identificado, si bien se le achaca una masa cero, un spin 2 y se le adjudica una intensidad de  $7 \times 10^{-39}$  (o  $10^{-40}$ ) según otra fuente). En el electromagnetismo lo hace el fotón y une núcleos atómicos y electrones para constituir átomos, así como también moléculas con la llamada fuerza electromagnética residual. La intensidad de tal fuerza ETM es aproximadamente  $10^{36}$  veces superior a la gravedad, y tiene 2 tipos de carga, uno positivo y otro negativo, que se atraen cuando son distintos, mientras cuando son del mismo tipo se repelen.

La fuerza nuclear fuerte une los quarks dando lugar a neutrones y protones, y forma también el núcleo con ambos; es una fuerza de una intensidad dos mil veces mayor que la de la gravedad pero de un alcance de solo milmillonésimas de mm. La fuerza débil interviene en varias formas de desintegración nuclear; el protón se desintegra en un neutrón, un e- y un antineutrino. El alcance de esta fuerza débil es también muy pequeño y es cien mil veces menor en intensidad que la fuerza nuclear fuerte. Fuerzas débil y fuerte tienen su límite de actuación en el corto espacio del ámbito del átomo, respectivamente en  $10^{-16}$  cm y  $10^{-13}$  cm, en tanto que las otras dos fuerzas no tienen límite en su extensión. La fuerza nuclear fuerte tiene la particularidad que se hace más fuerte, dentro de su campo de acción, cuanto más lejos estén los quarks a unir y relajan su elasticidad cuando están a menos de  $10^{-15}$  m.

Las 3 últimas partículas, W+, W- y Z<sup>0</sup>, contienen la fuerza nuclear débil e intervienen en la desintegración isotópica; su masa es 80 veces la de un protón. El gluón porta la fuerza nuclear fuerte que une el núcleo atómico apelmazando los quarks en los nucleones. Del gluón se conocen 8 tipos y no es posible su aislamiento en los experimentos de laboratorio. Los mismos y el fotón comprenden la fuerza electrodébil, es decir, la nuclear débil y la electromagnética. Esta fuerza es la responsable de la formación de los átomos; es decir, de hacer girar a los e- sobre el núcleo atómico. El fotón, unidad básica de la luz, cuanto de energía, es portador también, o transmisor, de la fuerza electromagnética. El alcance de las fuerzas nucleares es muy pequeño, del tamaño de un radio atómico como máximo.

En julio de 2012 el CERN europeo dio a conocer la existencia de otro bosón más, el último de la familia del modelo vigente entonces, el llamado de *Higgs* (del nombre del británico Peter W. Higgs, de la Universidad de Edimburgo, que lo propone ya en 1964, aunque no fue el único...), por el cual se generaría la masa de la materia y que se pegaría o acoplaría a las partículas con una energía proporcional a la misma; no lo haría con el fotón o partícula carente

de masa alguna. De tal modo se configura entonces la existencia del llamado campo de Higgs donde tiene lugar el citado hecho y cuya intensidad iría en función de la asunción de la energía. Tal partícula no se le supone spin. El bosón de Higgs, de spin 0 pues, sin carga, también ha sido llamado la quinta fuerza de la naturaleza como responsable de la masa de la materia. Uno problema de la teoría sobre este bosón es que interfiere cualidad con el hipotético gravitón, no obstante no evidenciado, de modo que la concepción combinada de ambos daría lugar a un Universo irreal, sumamente comprimido. El citado bosón, dado a conocer experimentalmente el 4 de julio de tal 2012, si bien aun no con la certeza del 100 por cien, pero muy cerca, se le adjudica una masa de 125,3 GeV ( $\pm 0,6$ ), el bosón más pesado de todos, o 134 veces la del protón. Según parece, el repetido bosón de Higgs se desintegraría en una trillonésima de segundo (otra fuente cita una miltrillonésima de segundo o zeptosegundo) en dos leptones taus, dos quarks bottom, dos bosones Z o W y dos fotones.

En 2005, a resultas de un experimento en el Fermilab, se identificó una nueva partícula de los mesones. Definida entonces de extraño comportamiento, se combina en un quark strange y un antiquark charm, que a pesar de ser el más pesado resulta que el tiempo para su desintegración es de una vida 3 veces superior a la de otras partículas menos pesadas.

Finalmente se ha de mencionar el principio por el cual la exacta velocidad y posición de una partícula no se puede ser precisada, conociéndose como el *principio de incertidumbre*, enunciado por Heisenberg. Significa pues que el comportamiento de las partículas es aleatorio y está condicionado por el observador. Si alguien trata de observar un electrón lo alterará en el proceso a que lo someta para tratar de verlo, así que tendrá que trabajar con un electrón *virtual*. Es uno de los principios fundamentales de la mecánica cuántica, siendo el otro el de *exclusión* de Pauli que dice que dos electrones no pueden estar en un mismo estado cuántico en el mismo punto o lugar.

He a continuación un cuadro general de las partículas elementales, de los **fermiones**, considerando que no es absoluto y que por lo demás se trata de un resumen que ignora mayores detalles. No se citan en el cuadro los bosones antes referidos, transmisores de las fuerzas, ni los quarks, que luego serán mencionados.

CLASE	NOMBRE	SUB	SIM-BOLO	CARGA	MASA	VIDA MEDIA en seg.	ANTIPARTICULA	SIM-BOLO	OBTENCION	DESINTEGRACION	P=partícula A=antipartícula	
LEPTONES	ELECTRON		e-	-	1	$\infty$	POSITRON	e+	$P \Rightarrow N + e + \nu$	A		
	NEUTRINO	e Elec-trónico	$\nu_e$	0	0,0...	$\infty$	ANTINEUTRINO Electrónico	- $\nu_e$	$-N \Rightarrow -P + e + \nu_e$ $N \Rightarrow P + e - + -\nu_e$	P A		
		$\mu$ muónico	$\nu_\mu$	0	0,0...	$\infty$	ANTINEUTRINO Muónico	- $\nu_\mu$	$\pi^+ \Rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	P		
		$\tau$ tau	$\nu_\tau$	0	0,0...		ANTINEUTRINO Tauónico	- $\nu_\tau$		P A		
	MUON		$\mu^-$	-	207	$2.2 \times 10^{-6}$	ANTIMUON	$\mu^+$	$\pi^- \Rightarrow \mu^- + -\nu_\mu$	P	$\mu^- \Rightarrow e^- + -\nu + \nu_\mu$ $\mu^+ \Rightarrow e^+ + \nu + -\nu_\mu$	P A
	TAU o TAUÓN		$\tau^-$	-	3491	$5 \times 10^{-12}$	ANTITAUON	$\tau^+$		P A	$\tau^- \Rightarrow \nu_\tau + \mu^- + -\nu_\mu$ $\tau^+ \Rightarrow -\nu_\tau + -\nu_\mu + \nu_\mu$	P A
HADRONES (2 quarks)	PI	PION	$\Pi^+$	+	273	$2.5 \times 10^{-8}$	PION NEGATIVO	$\Pi^-$	$P+P \Rightarrow P + N + \pi^+$	P	$\pi^+ \Rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ $\pi^- \Rightarrow \mu^- + \nu_\mu$	P A
		$\Pi^0$	0	264	$2 \times 10^{-16}$	no tiene		$P+P \Rightarrow P + P + \pi^0$	P	$\pi^0 \Rightarrow \gamma + \gamma$ (rayos $\gamma$ )	P	
	K	KAON	$K^+$	+	967	$1.2 \times 10^{-8}$	KAON NEGATIVO	$K^-$	$\pi^+ + N \Rightarrow K^+ + \Sigma^0$	P	$K^+ \Rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ $K^+ \Rightarrow \pi^+ + \pi^0$ $K^+ \Rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$	P P P
		$K^0$	0	975	$7 \times 10^{-8}$	KAON	$-K^0$	$\pi^- + P \Rightarrow K^- + N + K^0$	P	$K^0 \Rightarrow \pi^0 + \pi^0$ $K^0 \Rightarrow \pi^+ + \pi^-$ $K^0 \Rightarrow \pi^+ + \mu^- + -\nu_\mu$ $K^0 \Rightarrow \pi^+ + e^- + -\nu$ $K^0 \Rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$	P P P P P	
BARIONES (3 quarks)	NUCLEON	PROTON	P	+	1836	$10^{33}$ años	ANTIPROTON	-P	$-N \Rightarrow \nu + e + -\bar{p}$	A	$P \Rightarrow N + \nu + e +$	P
		NEUTRON	N	0	1839	1100	ANTINEUTRON	-N				$N \Rightarrow P + e^- + -\nu$
	HIPERON	LAMBDA	$\Lambda^0$	0	2182	$2.5 \times 10^{-10}$	ANTILAMBDA	$-\Lambda$	$\pi^+ + N \Rightarrow K^+ + \Lambda^0$	P	$\Lambda^0 \Rightarrow N + \pi^0$ $\Lambda^0 \Rightarrow P + \pi^-$	P P
		SIGMA	$\Sigma^+$	+	2327	$8 \times 10^{-11}$	ANTISIGMA	$-\Sigma^+$	$\pi^+ + P \Rightarrow K^+ + \Sigma^+$	P	$\Sigma^+ \Rightarrow P + \pi^0$	P

			$\Sigma^0$	0	2330	$10^{(-20)}$	ANTISIGMA	$-\Sigma^0$	$\pi^- + P \Rightarrow K^0 + \Sigma^0$	P	$\Sigma^0 \Rightarrow \Lambda^0 + \gamma$	P
			$\Sigma^-$	-	2340	$1.6 \times 10^{(-10)}$	ANTISIGMA	$-\Sigma^-$	$\pi^- + P \Rightarrow K^+ + \Sigma^-$	P	$\Sigma^- \Rightarrow N + \pi^-$	P
		XI	$\Xi^0$	0	2570		ANTIXI	$-\Xi^0$	$K^- + P \Rightarrow K^0 + \Xi^0$	P	$\Xi^0 \Rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$	P
			$\Xi^-$	-	2584	$1.2 \times 10^{(-10)}$	ANTIXI	$-\Xi^-$	$K^- + P \Rightarrow K^+ + \Xi^-$	P	$\Xi^- \Rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$	P

También se consideran mesones las partículas denominados eta ( $\eta$ ),  $D^+$ ,  $D^-$  y  $D^0$ , y el psi ( $\psi$ ), y como barión la omega ( $\Omega^-$ ).

En julio de 2007 se anunciaba el descubrimiento de un nuevo barión en el Fermilab que se denominó "Cascada b". Su masa es de 6 veces la del protón y se integra por los quarks *down*, *strange* y *bottom*, siendo el primero que se conoce formado por los mismos.

### - LOS QUARKS

Aunque en la astronáutica el conocimiento de los quarks no es directamente importante, sí lo es desde el punto de vista cosmológico, en tanto que a la astrofísica le resulta de interés en el estudio de la creación del Universo y para entender también otros fenómenos cuánticos.

Los quarks son las partes fundamentales de las que está formado el grupo de los hadrones, es decir, de las partículas más pesadas, que son todas excepto los leptones (electrón, neutrinos y muón). Toda la materia común u ordinaria está formada básicamente por combinaciones de dos tipos de tales quarks (en número de 3 en total, formando bariones; o bien en parejas, quark con antiquark, formando mesones) y el electrón (en distinta cantidad). Por ello, también se dice que son partículas de los núcleos. Su tamaño es parejo al del electrón o mayor en algunos casos. A la vez no existen quarks solos o aislados estables en forma natural, sino que siempre están en unión.

**Con los 6 leptones, los 6 quarks forman las verdaderas partículas elementales de la materia. Algunos modelos cuánticos establecen que leptones y quarks existen en simetría. Todos ellos en combinación con las 4 fuerzas de la naturaleza, es decir con los bosones, forman las demás partículas y establecen el átomo.**

Su existencia fue preconizada en 1964 por Murray Gell-Mann y George Weig, que propusieron tal nombre, quark; el último evidenciado, el Top, lo fue en 1994 en el Fermilab de Chicago, donde también fue hallado el anterior, el Bottom, en 1977. La primera conclusión fue que un nucleón estaba integrado por 3 quark y un pión, por un quark y su antiquark. Otras partículas también tendrían su quark y su antiquark. Su fuerza de unión son los gluones.

A su vez, cada quark podría (solo son especulaciones) estar formado por menores partículas o ser solo una energía en un simple nivel de vibración. Su tamaño es del orden de los 100 attómetros; o sea,  $10^{(-16)}$  mm.

En febrero de 2000 se informó por el CERN que algunos quarks habían podido ser aislados individualmente, estado que se suponía solo para estos entes en los primeros momentos de existencia del Universo y cuya consecución no se creía posible hasta entonces salvo con la utilización de una energía elevadísima; de hecho, para los experimentos, se generaron presiones 20 veces superiores a los existentes en el centro del Sol y temperaturas 100.000 veces mayores.

Una de las particularidades de los quarks es que su poder de atracción mutua es inverso a la distancia entre ellas. Es decir, cuanto más se alejan más fuerte es su poder de atracción y menos cuanto más cerca. Es como si estuvieran unidas por una goma elástica. Estas partículas interactúan con intercambio de gluones que son algo así como la goma citada, el ente de actuación en tal fuerza; de modo que si hay 8 tipos de gluones, se interpreta que hay 8 tipos de fuerza de unión de los quarks, o sea 8 modelos posibles. Otro modelo de explicación igual sustituye las gomas o cuerdas elásticas de los gluones por un efecto parecido al confinamiento dentro de un globo también elástico; cuanto más se separan los quarks más se ensancha el globo pero más fuerte es su presión para devolver las partículas hacia dentro. En este caso se sustituye el volumen por la longitud de la cuerda-goma, siempre ambos en relación a la energía.

Los quarks se mueven en su confinamiento del nucleón con independencia pero a muy corta distancia. Han podido ser, por así decir, "vistos", pero no sacados de tal confinamiento. Su spin es  $\frac{1}{2}$  pero la combinación de varios quarks da lugar a spin distintos. Para explicar las

propiedades de los quarks se ha establecido una subjetiva o metafórica clasificación por "colores", asignando a cada uno 3 posibles colores simbólicos (azul, verde y rojo), de forma que puede haber 18 quarks diferentes. En cualquier caso, los quarks no perviven libres sino agrupados en su cualidad también denominada de confinamiento y solo se agrupan siguiendo su característica de "colores" de modo que la suma de la agrupación siempre es conformando un equilibrio o color "blanco", sea la partícula que sea la constituida en ese grupo.

Como ocurre con algunas partículas como el muón o algunos neutrinos, salvo dos tipos de quarks, el Arriba y Abajo, o Up y Down, el resto solo se encuentran en estado natural en la radiación cósmica y en los experimentos de laboratorio, aunque se cree que intervinieron en la creación del Universo, en el Big Bang.

Las múltiples combinaciones de los quark configuran otras partículas y sus interacciones. Así los bariones constan de 3 quarks y los antibariones de 3 antiquarks. Los mesones constan de un quark con su antiquark. El Charm, con su antiquark, forma la partícula Psi. Un quark Down puede desintegrarse en un Up más un electrón. Un tipo de mesón (B) puede formarse con un Bottom y con Down o bien un Up.

En septiembre de 2006 en Fermilab se descubrió un mesón llamado Bs, compuesto por un quark extraño y un antiquark unidos por interacción fuerte, cuyo comportamiento oscila entre la materia y la antimateria, pudiendo ser alternativamente las dos cosas. Esta cualidad única viene haciendo especular sobre el contenido en el Universo de las mucho mayores proporciones de materia frente a la escasa antimateria, pese a que en un principio se cree que había un equilibrio o simetría.

El más pesado de los quark es el top, y también lo es su antiquark, el antitop.

En marzo de 2016 trasciende el hallazgo de una partícula nueva formada por los quarks Up, Down, Strange y Bottom, lo cual es muy raro por ser de 4 tipos distintos.

Se considera que los quark son una familia cuya clasificación es la que sigue, con expresión del número o contenido de los mismos en el caso de protón y neutrón:

QUARK		Significado del nombre	Familia	GeV-Masa	Carga	Protón	Neutrón	Ps	Observaciones
Up	<b>u</b>	Arriba	Electrón	0,0024	+2/3	2	1		Con el Down es la base del átomo.
Down	<b>d</b>	Abajo	Electrón	0,0048	-1/3	1	2		Con el Up es la base del átomo.
Strange	<b>s</b>	Extraño	Muón	0,092	-1/3				Encontrado en 1964.
Charm	<b>c</b>	Encanto	Muón	1,27	+2/3			1	Evidenciado en 1974.
Bottom	<b>b</b>	Valle o fondo	Tau	4,25	-1/3				También llamado Beauty (Belleza). Fue hallado en 1977.
Top	<b>t</b>	Cumbre o cima	Tau	171,2	+2/3				Evidenciado en 1994.

La masa en GeV se entiende en reposo. Todos tienen un spin  $\frac{1}{2}$ . Los nombres de los quark son puramente anecdóticos, aunque con alguna relación al significado de su nombre a su descubrimiento.

### > LAS RADIACIONES

Como sea que los e- poseen un movimiento en unas órbitas poseen pues una energía dinámica además, que corresponde al nivel de las mismas. Si un e- es obligado a pasar de una órbita a otra emite pues una energía compensatoria o la absorbe. Tal energía se denomina *cuantos*. Si el e- va de una órbita interior a otra exterior necesita pues de una energía y decimos que ha absorbido energía. Por el contrario si va de un nivel exterior a otro interior, es decir que cae, emitirá una energía que sobra para circular por esa ruta interior.

Para el salto hacia un nivel exterior, con absorción, o hacia uno interior, con emisión, la energía que lo ocasiona es siempre de una frecuencia equivalente.

Efectivamente, cuando los átomos absorben cierta energía correspondiente a determinada longitud y saltan por así decirlo los electrones en la medida que sea, éstos tienden a estabilizarse y van a caer a su antigua órbita emitiendo una energía en cuantos de idéntico nivel. El resultado es la radiación visible, con la que vemos los colores, y otras. Si el salto es de energía en los núcleos atómicos, ello da lugar a los rayos equis duros o gamma.

Todos los saltos posibles de un e- en un átomo concreto con las diferentes emisiones o longitudes de onda recogidas, se denomina espectro de ese elemento y constituye su huella

dactilar por la que lo identificamos; nos dice su composición química, temperatura, presión, densidad, velocidad, etc. Ese espectro reflejado en una franja queda delimitado por las mayores y menores longitudes emitidas y las absorciones quedan representadas por líneas negras en su longitud correspondiente dejando así pues la señal de ausencia por haber sido absorbida tal radiación por algún ente que se interpone. El conjunto de líneas negras integra el llamado espectro de absorción.

Esa energía absorbida o emitida se traduce en lo que conocemos por el nombre de radiación, que estará pues en relación a la magnitud de la acción. Se dice asimismo que emite un cuanto que puede ser de naturaleza corpuscular u ondulatoria (fotones). Cuando ambos se definen con claridad así respectivamente se dicen emisiones atómicas, de las que ya hemos tratado, y electromagnéticas que son las que ahora consideramos.

Las emisiones ondulatorias u ondas que se forman entre campos eléctricos y magnéticos en que está el átomo al ser excitado se consideran por formar un abanico de diferentes caracteres que se pueden medir por su origen en frecuencia de emisión, equivalente en ciclos por segundo o hertzios, y por su naturaleza en viaje, equivalente a una longitud de onda que es en magnitud inversa a la frecuencia. A una mayor frecuencia pues corresponde menor longitud de onda. La longitud de onda puede medirse en Km, metros y hasta fracciones de mm, como las micras ( $\mu$ ) y los ángstrom ( $\text{Å}$ ). Frecuencia o período se define con el tiempo que tarda el punto en movimiento en pasar por dos posiciones seguidas iguales, y longitud de onda a la distancia entre esos dos puntos. El plano de la emisión se llama polaridad.

Así pues cada frecuencia o longitud determina un carácter por el cual adivinamos su procedencia y la posible causa que lo originó. Ese es el mensaje de los átomos, combinados o no, que ahora identificamos. Porque efectivamente pueden ser emisores las moléculas, los tejidos o los seres vivos, pues en definitiva todo está integrado por átomos o partículas.

La luz visible en realidad es un trozo del espectro electromagnético (ETM) integrado por diferentes longitudes de onda que van desde el rojo al violeta pasando por el resto de colores; pero a la vez, la naturaleza de la luz es doble, es onda y también corpúsculo de materia, o partícula fotónica. Cuando la luz no se refleja o refracta no distinguimos tales colores porque llegan juntos. Pero al incidir sobre un cuerpo, éste si los absorbe total o parcialmente, depende del mismo, y rechaza algunas frecuencias éstas sirven para "ver su color" pues son las que lo definen las que no son absorbidas. Pero todos los colores es posible separarlos con un prisma de cristal que refracta la luz y constituye entonces el espectro.

Cuando dos ondas de luz (u otra naturaleza) se interfieren la coincidencia de las crestas produce la amplificación y fuerza o brillo de la luz, en tanto que la coincidencia de cresta con valle provoca la anulación u oscuridad. Es lo muestran las llamadas bandas de interferencia.

En realidad compuesta por fotones, la luz constituye como es obvio una energía y se propaga en el vacío a una velocidad igual, poco más o menos, al resto de las radiaciones ETM y constituye una constante de unos 300.000 Km/seg si bien una cifra más exacta es 299.792,458; para otras zonas espectrales la cifra varía ligeramente.

La captación de la luz es realizada por el ojo humano, que es sensible a tales frecuencias, empleándose técnicas idénticas con aparatos para detectar otras radiaciones.

Conste nuevamente que los espectros son huellas particulares a analizar de un ente emisor. Este cuerpo emisor, dada su configuración atómica excitada por una determinada energía, como la luz, radiaciones ultravioleta (UV), etc., emite una radiación correspondiente solo a ese estado, lo cual identifica la causa que lo produce. En el lado del UV la energía es superior al extremo de los IR, o lo que es lo mismo es superior en frecuencia y de menor longitud de onda.

Así, en la luz de sodio, por ejemplo, al ser excitado aquél por la energía eléctrica da un tono amarillento. Por este color sabemos pues que está atravesado por energía ETM. Esto parece una perogrullada, pero si pensamos en un ejemplo menos común captaremos la idea más ampliamente: una plancha de hierro incandescente al enfriar o al fundir va tomando diversas tonalidades, indicando la variación de radiación emitida o recibida en tal tono. Un cuerpo cuando está muy caliente emite luz más hacia el azul y cuando lo está menos es más rojizo. Y es que el rojo es de menor frecuencia y mayor longitud. Se establece que una mayor energía de excitación ocasiona mayores frecuencias y por tanto menores longitudes de onda.

Con todo, se trata de indicar que cada elemento químico tiene un espectro característico que señala unas líneas destacadamente de una frecuencia adecuada a su modelo atómico.

A la vez que un átomo que no emita radiación ETM, sino que la absorba, eleva los electrones de nivel, puede ser identificado según se hizo constar anteriormente. Los saltos de los

electrones de la primera órbita hacia otras exteriores o de éstas hacia ella, se traducen en frecuencias elevadas de nivel ultravioleta (UV). Si la transición es desde la segunda órbita o hacia ella, la radiación corresponde a la luz visible. Los saltos desde o hacia el tercer nivel equivalen a las radiaciones infrarrojas (IR) de mayor intensidad. Desde o hacia el cuarto nivel se ocasionan radiaciones de IR débil. En un átomo de hidrógeno excitado, establecidos tres niveles que distan 1, 4 y 9 del núcleo y en relación a él, la caída del tercer nivel al segundo crea una radiación llamada hidrógeno alfa de una longitud de onda igual a 6.563 Å y corresponde al color naranja del espectro visible. La caída de la segunda órbita a la primera provoca la radiación denominada Lyman de longitud igual a 1.216 Å (UV).

Matemáticamente el gran número de posibilidades de saltos de los electrones de todos los elementos determina que sea por tanto difícil, al menos en principio, un análisis de todos los espectros. Pero básicamente los cuerpos están en sus principales características determinados hoy en día, y cuando se estudian en general por métodos espectrales, se saben la mayor parte de las veces a priori los principales elementos con que cuenta y el trabajo no resulta tan complejo como pueda aquí aparentar.

En todo ello se basa directamente el estudio de la radiación solar o estelar o la que nos llega de los planetas, generalmente por refracción, por lo cual sabemos que se componen de este o aquel elemento, así como la distancia que nos separa y un largo etcétera que significa todo.

En astronomía, observando los espectros recibidos de una estrella podemos averiguar por ejemplo la existencia de otra materia que de por sí no emite nada, como son las nebulosas o nubes del típico caso del hidrógeno, por ejemplo. En un espectro de tal estrella aparecerían una o varias líneas negras, o sea que han sido absorbidas, y en una longitud que solo el hidrógeno puede hacer, cosa ya sabida. Ello indica pues la existencia entre la estrella y nosotros de tal nube. La energía absorbida por el hidrógeno es luego devuelta al retornar los electrones a la órbita primitiva, tras su elevación en la absorción, pero su emisión no es dirigida a nosotros en concreto como venía la radiación de la estrella que provocara el fenómeno, por lo que esta radiación secundaria es difusa y solo una muy débil parte podría llegar.

Resumiendo, los fenómenos producidos por los átomos en acción, sea una leve emisión por recibir un poco de energía o una gran parte de sus partículas por fraccionamiento de una gran energía o frecuencia, se recogen en los llamados espectros que son resultado de todas las formas posibles de emisión ETM. Prácticamente todos los fenómenos posibles son reproducidos en el Sol, o de un modo general en las estrellas, pero parcialmente se pueden en casi su totalidad reproducir en la Tierra con diversos sistemas, tales como reacciones nucleares, resistencias eléctricas, la radio, etc., etc., y en definitiva allí donde existan átomos excitados voluntariamente o no.

Las emisiones como se decía podían ser atómicas o nucleares y radiaciones ETM. Veamos ahora las primeras. La unidad de medida de la energía de los cuantos es el eV, electrovoltio.

### = RADIACIONES ATÓMICAS

Pueden ser de tres tipos, alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ), tratándose en todo caso, salvo las últimas, de naturaleza corpuscular y no ondular.

Las radiaciones  $\gamma$  están junto a los rayos cósmicos en el umbral de la máxima energía que se puede irradiar en la modalidad atómica y se sitúan en la ultrafrecuencia de las radiaciones ETM, que será donde trataremos de ellas, en límite ya como se dice con las atómicas.

#### - RAYOS ALFA ( $\alpha$ )

Son núcleos de helio, o sea, 2 protones y 2 neutrones unidos. Tienen pues una masa atómica de 4,0028 y son por tanto cuatro veces más pesados que el átomo de hidrógeno. Su carga es lógicamente positiva. La velocidad de emisión oscila entre 15.000 y 20.000 Km/seg y su energía está entre 2 y 10 MeV (megaelectrovoltios).

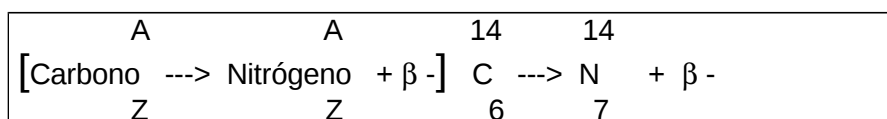
Un rayo  $\alpha$  de 5 MeV puede ser anulado o detenido por 3,5 cm de aire a presión de una atmósfera a 15 °C o más sencillamente por un simple papel. En 1999 se encontraron evidencias de que irradiando el citoplasma celular con tal radiación que inducía a mutaciones en el ADN.

### - RAYOS BETA ( $\beta$ )

Son los rayos  $\beta$  de masa y carga igual a las del  $e^-$  y su antipartícula ( $e^+$ ). Por ello los rayos  $\beta$  pueden ser positrones o negatrones (éstos últimos iguales a los  $e^-$ ) y se señalan respectivamente  $\beta^+$  y  $\beta^-$ , siendo éste último el más común.

Viajan los rayos  $\beta$  a velocidades de entre 60.000 y 296.000 Km/seg. Pueden ser detenidos por 1 mm de papel de aluminio o 1 cm. de material sólido con más de 2,8 g/cm<sup>3</sup> de densidad, y en el aire penetran hasta dos metros. Pueden ser detectados por contadores especiales.

Un elemento emisor de  $\beta^-$  es por ejemplo el carbono 14, de gran importancia investigadora, que al realizar la emisión se transforma en nitrógeno:



ocurre pues que un protón reemplaza a un neutrón junto a un neutrino ( $\nu$ ) además; Z es el número atómico y A es la masa atómica que en tal carbono es mayor de lo normal pues es un isótopo, claro está.

### = RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

Son lo más interesantes y trascendentales para nosotros. Como ya se indicó pueden caracterizar fenómenos de difusión, reflexión, refracción y difracción por su carácter ondulatorio. Todas las radiaciones ETM se propagan en el vacío y son por su carácter de origen afectadas por campos ETM. La onda electromagnética aparece bajo existencia de un campo eléctrico que se genera sobre una carga eléctrica y otro magnético originado al moverse aquélla de modo constante. La alteración del movimiento constante o regular, la aceleración o deceleración de los campos, que se desplazan perpendicularmente, provoca la onda ETM. Esta modificación puede tener un ciclo que es la frecuencia de la onda.

Su espectro comprende desde los rayos cósmicos, de gran energía y frecuencia, hasta las más largas ondas que provoca con bajísima frecuencia una batería eléctrica, pasando por los rayos  $\gamma$ , rayos x, rayos UV, luz visible, IR, y ondas cortas, medias y largas de radiocomunicación.

Pero antes de ver tales tipos de radiaciones consideremos las leyes matemáticas fundamentales que las circunscriben.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) como se indicó se medía desde en kilómetros hasta ángstrom (Å);  $1\text{Å}=10^{-10}\text{m}=10^{-8}\text{cm}=10^{-5}\text{mm}=10^{-4}\mu$ , o sea  $1\mu=10.000\text{Å}$ .

La frecuencia se mide en ciclos por segundo o hertzios y se designa por la letra griega ypsilon ( $\nu$ ). La velocidad de propagación (V) en Km/seg está en función de los 2 parámetros anteriores y es  $V=\lambda\nu$ . O sea que  $\lambda=V/\nu$  y la frecuencia  $\nu=V/\lambda$ .

La velocidad como sea que es prácticamente una constante de casi 300.000 Km/seg dada la frecuencia o longitud de onda se conoce el resto. En realidad la velocidad disminuye con la frecuencia inversamente.

La energía fotónica se mide en electrovoltios (eV) o unidades múltiples superiores como el MeV que equivale a  $10^6$  eV. La energía E de cada cuanto irradiado es dada por la fórmula  $E=\lambda x U$ , donde U representa una constante de gran interés astronómico.

Para determinar la temperatura de un cuerpo, origen de una radiación, por la onda emitida tenemos la fórmula de radiación de Planck siguiente:

$$E_{\lambda} = C_1/\lambda^5 \times (e^{(C_2/\lambda x T)} - 1)$$

donde  $E_{\lambda}$  es la energía por intervalo de longitud de onda ( $\lambda$ ). T es la temperatura absoluta; e es el número base de los logaritmos neperianos cuyo valor es 2,718281828; C1 y C2 son constantes de valor respectivo de  $3,7 \times 10^{-5}$  erg.cm<sup>2</sup> y 1,4323 cm grado que es la energía emitida por unidad de tiempo de 1 cm<sup>2</sup> de cuerpo negro.



De aquí se deduce que a más temperatura menor es la longitud de onda. La relación entre frecuencias y longitudes de onda con energía en eV y con velocidad de las ondas en su propagación puede ser reflejada a continuación a modo de ejemplo:

FRECUENCIA (Hertzios).	$1,2 \times 10^{22}$	-	$5,4 \times 10^4$	-	$7,2 \times 10^{10}$	-	$3 \times 10^8$	-	$4,7 \times 10^7$
LONGITUD DE ONDA (m.).	$2,5 \times 10^{-12}$	-	$5,6 \times 10^{-7}$	-	$4,2 \times 10^{-3}$	-	1	-	6,4
ENERGÍA (eV).....	$5,1 \times 10^5$	-	2,2	-	$3 \times 10^{-4}$	-	$1,2 \times 10^{-6}$	-	$1,9 \times 10^{-7}$
VELOCIDAD (Km/seg.)...	298.300	-	299.793,1	-	299.792,5	-	299.792	-	299.780
NOMENCLATURAS.....	RAYOS x	-	LUZ	-	MICROONDAS	-	UHF	-	VHF

En las páginas contiguas, se relaciona el espectro electromagnético absoluto con todas sus formas posibles y caracteres más interesantes. Se enumera de mayor a menor frecuencia y por tanto de menor a mayor longitud de onda; una  $\mu\mu$  es la milésima parte de la  $\mu$ .

#### - RAYOS GAMMA ( $\gamma$ )

Situados en el extremo de máximas frecuencias. Mas allá aun están los rayos cósmicos de los que por su importancia se trata luego con más amplitud.

Los rayos  $\gamma$  son una radiación originada, junto a los rayos  $\alpha$  y  $\beta$ , por isótopos y en general es el resultado de la transformación de los núcleos atómicos en otros de nivel energético más bajo. Son los causantes, con la radiación de neutrones, del efecto peligroso que causan las explosiones nucleares; en el cuerpo humano destruyen los leucocitos y su afección produce al cabo del primer día malestar, mucha fatiga y vómitos. Pueden considerarse radiaciones ETM de gran energía, como fotones de longitud de onda cortísima, de milésimas de Å, por lo que opuestamente a los  $\alpha$  y  $\beta$  no tienen carga eléctrica.

Son detenidos normalmente por la atmósfera, que nos protege de ellos, pero en el espacio se necesitaría una pantalla o escudo protector de al menos 22 cm de plomo. Su efecto es esterilizante por lo que tiene interés en medicina. Esta radiación puede ser medida por el método de centelleo, espectrómetro de cristal o de rayos  $\beta$ .

#### - RAYOS EQUIS (X)

También llamados rayos Roengten, en memoria del descubridor de los mismos W.K. Roengten, los rayos x son de menor frecuencia que los gamma con los que limita en el espectro. Pueden ser blandos y duros, siendo los últimos los de mayor frecuencia, y de una longitud de onda entre 0,1 y 100 Å.

Son más penetrantes cuando más duros y menor sea el peso atómico de la sustancia a atravesar. Normalmente, de los rayos x que llegan por el espacio nos protege la atmósfera.

Los rayos x son emitidos cuando los electrones atómicos sufren una aceleración brusca. Pueden ser producidos en los tubos de los rayos catódicos, donde un área metálica (anticátodo) es bombardeada con los e- (haz de rayos catódicos) por diferencia de potencial. Cuando la radiación incide en el átomo del anticátodo saltan los e- interiores que son reemplazados por los exteriores que al "caer" en los niveles inferiores emiten ya tal radiación.

Son empleados en medicina aprovechando su resolución ionizadora con lo que recogidos en una placa especial se distinguen las masas mayores. Actualmente son asimismo utilizados en aeropuertos y de un modo general en zonas de control como aduanas para el examen del pasaje a fin de detectar cómodamente armas principalmente. Por supuesto, tienen además interés en otros campos.

En base a las emisiones de rayos x se establece una unidad de medida para las radiaciones, llamada miliroengten o miliREMs. La igualdad con otras radiaciones se fija por los efectos biológicos equivalentes. En una típica radiografía de tórax se recibe una dosis de rayos x de unos 30 mR (miliroengten). Las radiaciones que nos atraviesan normalmente equivalen a una dosis de 3 mR por semana y proceden de la radiactividad natural y de los rayos cósmicos. Un hombre normal puede soportar sin peligro aparente hasta 1.000 mR. Una dosis de 450 REMs, o sea 450.000 miliREMs, recibida en unos días se considera mortal. Anualmente, según se ha calculado, estamos expuestos a recibir entre 100 y 150 mR.

#### - ULTRAVIOLETA (UV)

Más allá de los rayos x, en la escala de frecuencias, y hasta el límite de la luz visible, está la banda ultravioleta (UV). Su longitud de onda va de los 100 a los 3.900 Å, con división en los 3.100 de la banda del UV lejano, de menor longitud, y el UV cercano, de mayor.

Emitida por las estrellas llega a la Tierra donde es absorbida por la atmósfera, siendo los más peligrosos detenidos por el ozono. De gran interés en astronomía y medicina, son muy peligrosos para la vida biológica. En longitudes de onda de 2.900 a 3.000 Å alteran las proteínas sintetizadas por ácidos nucleicos y entre 2.700 y 2.800 Å provocan mutaciones y alteraciones más graves en tales ácidos. Su estudio en astronomía se relaciona entre otras cosas con la búsqueda de nubes de hidrógeno atómico interestelar.

Las radiaciones UV más débiles penetran en la Tierra, atravesando la atmósfera y se identifican con el violeta de la luz visible. La radiación x y la UV juntas son denominadas XUV.

### - LUZ VISIBLE

Entre las radiaciones UV e IR se halla un trozo de espectro ETM que es filtrado por la atmósfera y que constituye la luz, gracias a lo cual vemos el mundo que nos rodea; o mejor diremos, en la que nos ha especializado el sentido de la vista que en la evolución se adaptó al medio, utilizando esa banda espectral. En efecto, se trata en realidad, la luz, de una serie de longitudes de onda a las que la evolución natural ha provisto de un órgano sensible identificador: el ojo.

Las diferentes frecuencias son los distintos colores que nuestra vista capta y que en el cerebro son identificadas. Pero no todos los ojos, o mejor las vistas, ven los colores. La vista de muchos animales es en blanco y negro pues solo captan los tonos más o menos grises. Y del mismo modo existen animales cuya vista se ha sensibilizado para captar zonas UV que nosotros no vemos. El ser humano puede distinguir cerca de los 200 tonos de color y miles de matices en mezcla.

En realidad, lo que conocemos por luz visible y parte de sus extremos prolongados constituye la llamada ventana óptica, que es como un agujero para los astrónomos por el cual pueden con sus telescopios reflectores y refractores, así como con sus aparatos de estudios espectrales, llevar a cabo las investigaciones astronómicas.

Dentro de la cortísima banda que forma la luz, la mayor frecuencia corresponde al violeta, luego al azul, cian, verde, amarillo, naranja y finalmente al rojo que es el de menor frecuencia y que se mezcla con el IR. Todos ellos mezclados son el blanco que es como originalmente llega la luz del Sol o fuente de radiación. La luz al incidir en los diferentes materiales del mundo es absorbida y rechazada con discriminación en los distintos colores según tales materiales, formando así la multicolor visión del mundo que nos rodea.

La emisión concentrada de una determinada frecuencia constituye los haces LÁSER, cuyas aplicaciones son de lo más diverso, resaltando la medicina, la industria, la investigación, e incluso en diversiones y ocio, etc.

He a continuación los niveles correspondientes a cada nivel de color según longitud de onda en ángstrom:

	al UV		
	↑		
3.800 Å		6.200 Å	NARANJA
4.000	VIOLETA	6.300	
4.200		6.400	
4.400		6.600	ROJO
4.600		6.800	
4.800	AZUL	6.980	
4.950		7.000	ROJO FUERTE
5.000	CYAN	7.200	
5.200		7.400	
5.400	VERDE	7.600	.....límite visible humano
5.600		7.800	IR
5.800	AMARILLO	8.000	
6.000		8.200	
		↓	
		al IR	

La velocidad de la luz en el vacío desde 1973 se ha estimado en 299.792,456 metros por segundo con un error admisible  $\pm 1$  metro.

#### - INFRARROJO (IR)

De menores frecuencias que el color rojo, el IR está por debajo de aquél y es absorbido en la atmósfera normalmente por el vapor acuoso y dióxido de carbono entre 4 y 8  $\mu$  de su longitud de onda. En cambio, el nitrógeno y el oxígeno y gases raros son transparentes a la radiación IR, como también lo son los cristales de germanio puro que es opaco a la luz visible. El vidrio es bastante opaco para longitudes de 5 micras.

El IR puede ser emitido por cualquier cuerpo con más de 3.500 °K de temperatura, pero incluso con más de 0 °C ya se emite cierta mínima cantidad.

En limitadas frecuencias puede constituir una especie de ventana.

#### - MÁS ALLÁ DEL IR

De menor frecuencia se hallan tras el IR las microondas y ondas de TV y radio, que pueden ser detectadas con ayuda de antenas o circuitos ETM y reproducidas con técnicas inversas a su captación.

Son empleadas para todo tipo de comunicaciones inalámbricas de radio y TV en sus diferentes bandas y canales, incluso espaciales, y también se usan en radar y en astronomía con los radiotelescopios.

Parte de estas ondas no son absorbidas o reflejadas por la atmósfera y de ahí su admisión en radioastronomía y comunicaciones espaciales. La recepción de ondas kilométricas y miriámétricas es estable día y noche pues siempre son rebotadas en la llamada capa D, de día, y E, de noche, de la atmósfera. Las ondas medias tienen más alcance de noche que es cuando la actividad ionosférica disminuye. Las ondas cortas se reflejan a mayores alturas, con débil absorción. En el apartado de la atmósfera se tratará de las citadas capas.

Finalmente cabe añadir que la audición humana está por lo general dentro de un rango de frecuencias entre los 1,0 y los 6,0 KHz.

#### = LOS RAYOS CÓSMICOS

Un tipo especial de radiaciones, en realidad partículas, que circulan por el espacio y de frecuencia superior a los rayos gamma son los llamados rayos cósmicos que a pesar de ser estudiados intensamente durante las últimas décadas, si bien su descubrimiento data de 1912 (por el austríaco Victor Franz Hess, 1883-1964), no son en sus efectos lo suficientemente conocidos; fueron bautizados con tal nombre en 1925 por Robert Andrews Millikan (1868-1953), físico americano y premio Nóbel.

Sobre la procedencia de los rayos cósmicos se sabe que parte de ellos proceden algunos del Sol, los de energía hasta 1 GeV, aunque también hay quien sostiene que no proceden del Sol, y otros llegan a la Tierra a través del espacio interestelar con gran energía, del orden de los 100 GeV y más, viajando a velocidades de poco menos de la de la luz. Los llegados de fuera del Sistema están originados cerca de los restos de las supernovas explotadas, como resultado de la acción de ondas de choque; se cree (2010) no obstante que los aquí llegados no han de proceder más allá de los 225 millones de años-luz de nosotros, aunque sin identificar con claridad las fuentes. En tal circunstancia, los iones resultan acelerados a tales velocidades y adquieren gran energía. El de más energía detectado hasta 1994 por el hombre fue uno de  $3,2 \times 10^{11}$  GeV identificado así el 15 de octubre de 1991. Los de energías del orden de los  $10^9$  GeV vienen de más allá de nuestra galaxia. Los de más energía en general, como  $10^{11}$  GeV, no se sabe exactamente su procedencia, pero su afluencia es más bien rara, de 1 por  $\text{Km}^2$  cada cien años.

Están formados principalmente por protones, entre un 79-89 %, por partículas  $\alpha$ , de un 10 a 20 %, y también de núcleos pesados, aproximadamente un 1 o 2 %. Son en todo caso partículas cargadas eléctricamente y por tanto susceptibles de ser afectadas por campos magnéticos.

En general proceden de elementos estelares; o sea, hidrógeno, helio, etc. Por su alta energía, en el cosmos estos rayos son mortales y se denominan entonces rayos cósmicos

primarios. Cuando penetran en la atmósfera, a razón de unos 1.000 por  $m^2$  cada segundo, chocan con el aire y se disgregan atenuando su fuerza, lo cual permite que lleguen a nosotros partículas secundarias resultantes de los impactos con las moléculas aéreas y ello hace que los rayos ya no sean entonces tan peligrosos. La absorción tiene lugar principalmente en las aéreas regiones estrato-mesoféricas. Una altura típica pueden ser los 20 Km. Las partículas secundarias resultantes del choque son protones, neutrones, y mesones de gran energía. Dependiendo del ángulo de incidencia, se producirán 11 choques hasta llegar al suelo terrestre si llega vertical el rayo inicial, o el doble si llega con  $60^\circ$ . Como es lógico, a medida que se suceden las colisiones van perdiendo energía. El aire absorbe al menos el 95% de su energía, y a tierra llegan en un 80% muones con energía de 1 GeV, siendo casi el resto electrones y positrones de menor energía; hadrones llegan menos de un 1%. A nivel de mar, muones llegan 1 por  $cm^2$  y por minuto aproximadamente.

En 2007 se presentaba por parte del danés Henrik Svensmark, jefe de un equipo investigador, la teoría de que los rayos cósmicos influyen en nuestra atmósfera, y por tanto en nuestros climas, de una forma determinante. Su incidencia en la formación de nubes, se asegura, es directa, de modo que la menor afluencia e intensidad de tales rayos determinaría menos nubosidad y por tanto temperaturas más elevadas. Pero en este proceso juega un papel importante nuestro campo magnético y el del Sol. Otros físicos también correlacionan la incidencia en el clima planetaria de las radiaciones que afluyen sobre nosotros en las distintas zonas galácticas que atravesamos en el deambular del Sistema Solar en largos períodos (de varios miles o millones de años).

A pesar del frenado y disgregación que sufren antes de llegar a nosotros, aun nos atraviesan a una velocidad de 200 Km/seg, sin que obviamente nos apercibamos de ello. Se ha calculado que a nuestro cuerpo llegan a razón de 2 millones por día, destruyéndonos algunos átomos celulares al atravesarnos. Los resultados o efectos biológicos aun no están determinados con exactitud. Unos opinan que son perjudiciales y otros se inclinan por asegurar que son favorables a la evolución biológica.

Para lo que sí resultan perjudiciales es para los sistemas informáticos, no digamos ya en el espacio, sino a nivel de tierra, donde en 1996 se estimó que podían producir unos 200 fallos anuales por ordenador en sus programas informáticos al chocar con átomos de los chips. Al ir subiendo en altitud sobre el nivel del mar, los fallos se incrementan (por ejemplo a 1.500 m ascienden en un 388%) y también influye la mayor o menor latitud con más afectación en latitudes mayores (más cerca de los polos).

La potencia de los rayos cósmicos es tal que algunos de ellos pasan a través de cualquier clase de materia incluido el denso plomo, llegando numerosas veces a profundidades desconocidas en los océanos. La intensidad con que caen a nivel de mar es de uno por  $cm^2$  y a cada segundo.

Al incidir sobre la atmósfera, los protones penetran unos 70  $g/cm^2$  de aire y los rayos  $\alpha$  lo hacen solo en 25  $g/cm^2$ , teniendo entonces lugar la primera interacción. Al choque de la radiación primaria se ocasionan mesones  $\pi^\pm$  de  $2,5 \times 10^{-8}$  segundos de vida que producen dos mesones  $\mu$ . Si son de poca energía la desintegración se produce sin interacciones, pero cuando son de alta energía producen las citadas escisiones.

En tierra penetran un 5 % de los mesones, con efecto relativista de dilatación del tiempo, como ya se señaló. En realidad, a la primera interacción el núcleo o protón se desintegra al igual que el correspondiente átomo del aire originándose la suelta de nuevos protones y neutrones que a su vez vuelven a chocar. Los mesones que son partículas inestables acompañan siempre en el fenómeno y son más abundantes en la radiación secundaria. También se originan mesones neutros que derivan en fotones que a su vez se materializaran en electrones y positrones que a su vez ocasionan más fotones.

Los rayos cósmicos pueden ser detectados por contadores Geiger-Muller. Su estudio ha dado lugar a la identificación de partículas tales como el positrón, mesón pi, etc.

## = INVESTIGACIÓN Y APARATOS

Cuando nos llega la radiación de una estrella o ente de que se trate, y ente es todo aquello visible o invisible pero existente, que emita radiación ETM y vemos su espectro recibido, al analizarlo comparamos las radiaciones más intensas y las líneas más definidas. Y así llegamos a saber qué elemento o compuesto es allí más abundante, su temperatura y un largo

etcétera hasta deducir en una larga cadena de una reacción nuclear estelar de tal o cual tipo, plasma parcialmente ionizado o un componente atmosférico de un planeta o lo que sea, averiguando además muchísimos aspectos físicos del mismo tales como la masa, gravedad, etc.

Como ejemplo de ello, en el estudio espectral de varias líneas se sabe que en la composición gaseosa del planeta Venus hay anhídrido carbónico CO<sub>2</sub> (estudio IR), monóxido de carbono CO (con 2,35  $\mu$ ), óxido nitroso N<sub>2</sub>O (2,15  $\mu$ ) y metano CH<sub>4</sub> (1,16 y 1,7  $\mu$ ); en Marte, anhídrido carbónico CO<sub>2</sub> (1,57 y 1,60  $\mu$ ), oxígeno molecular (0,6868  $\mu$ ), vapor de agua H<sub>2</sub>O (0,8  $\mu$ ), ozono O<sub>3</sub> (0,30  $\mu$ ) y óxido nitroso N<sub>2</sub>O (1,52 y 1,68  $\mu$ ); y en Júpiter, Saturno y otros planetas, metano CH<sub>4</sub> (0,6 y 0,9  $\mu$ ) y amoníaco (0,645  $\mu$ ).

Tratándose de la astronáutica, también se emplea la química para algunas de estas deducciones en determinadas y escasas ocasiones. Entonces los análisis se realizan en la nave por una serie de sistemas que por radio transmiten en código la identificación de las sustancias. Aquí diríamos que trabajó el gusto de un catador y que luego nos lo comentó. Pero las cuestiones de análisis, sean del espectro óptico o incluso de rayos  $\alpha$ , x, etc., son más complicadas de lo que aquí aparenta, como es lógico, siendo no obstante lo citado, eso sí, sobre lo que se desarrolla toda investigación.

Una de las investigaciones más interesantes sobre espectros de la luz en concreto es el de las galaxias, estrellas o cualquier cuerpo en movimiento. Si se acerca hacia nosotros o se aleja, o gira simplemente, su espectro muestra un desplazamiento de las líneas: hacia el rojo, que es de mayor longitud, significa que se aleja y es llamado corrimiento hacia el rojo, y hacia el azul, de menor longitud, si se acerca a nuestro punto de observador.

Esto se basa en el efecto Doppler y se aplica también para detectar aviones, satélites, o como ya se dijo cualquier cuerpo en movimiento, por el uso de otra parte del espectro ETM: ondas de comunicación y radar. Tal efecto se basa en la comparación de las ondas emitidas y recibidas o en la diferencia de recepción en una transmisión constante. Ocurre lo mismo en el típico caso de un tren silbando que al acercarse produce más intenso ruido (equivale a una mayor frecuencia) pero al alejarse se apagan los ruidos progresivamente porque al distanciarse la emisión nos llega cada vez más espaciada (equivale a menor frecuencia y también a la mayor longitud de onda, -el rojo).

También ello nos dice que un cuerpo gira sobre sí mismo o tiene determinada velocidad al observar el corrimiento hacia el UV de las emisiones de su lado oeste por donde aparece y el desplazamiento hacia el IR de las emisiones del lado que se oculta.

Pero la investigación ETM además es la base de gran número de estudios de nuestro propio planeta y ya no solo de radar y velocidades de cuerpos, sino de oceanografía, agricultura, de la atmósfera, etc. De un modo general, los aparatos que tenemos para todas las averiguaciones son de lo más diverso y no tiene objeto describirlos uno a uno.

Los detectores de radiación o radiómetros tienen por objeto traducirnos la radiación captada en mensajes de identificación audiovisual, o sea que puedan verse u oírse.

Además se hace uso para comunicación entre nosotros mismos de cierta parte de ondas, radio y TV que codifican el mensaje y lo transmiten; la radio transforma la vibración sonora en ondas ETM y la TV transforma los tonos de la luz visible en ondas de menor frecuencia. Al recibir tales señales otros aparatos captan las ondas y revierten los procesos.

Las radiaciones ETM pueden en definitiva ser detectadas por los llamados detectores cuánticos, resonantes y térmicos. Los detectores térmicos captan las radiaciones transformándolas en calor en las proporciones directas para luego ser traducidas en señales visuales por campos ETM. Los detectores resonantes captan solo el tipo de frecuencia con que se sintonice.

Los detectores cuánticos pueden ser materializados en emulsiones fotográficas, células fotoeléctricas y contadores Geiger, y convierten las radiaciones en señales visuales proporcionales a la radiación.

La detección por encima del UV se efectúa con los citados contadores que cuentan con una cámara de gas que al ser ionizado por las radiaciones deja pasar corrientes eléctricas de mayor o menor intensidad en base a lo cual se determina la intensidad radiactiva.

Más allá del IR, como ya se dijo, es efectuada a base de antenas y circuitos de radio y TV.

Es alrededor de la ventana óptica donde hay más intentos y primeros estudios con aparatos visuales como los telescopios, por reflexión y refracción de la luz, espectrógrafos, por difracción de la luz, y células fotoeléctricas, por calentamiento de par termoeléctrico o elementos

que pierden electrones fácilmente al incidir en ellos la radiación visible o cercana a ella.

Particularmente interesantes resultan los espectrógrafos que son espectroscopios, o sea aparatos con un prisma transparente que separa por difracción en líneas la radiación, y que están dotados de registradores fotográficos o magnéticos, o ambos, sensibles.

El espectrógrafo óptico deja ver los colores separados en líneas y usa prisma de cristal. El de captación IR emplea cuarzo o sal gema, el de detección UV cuarzo o fluorita, y el de rayos x, prisma de cristal.

Tipo interesante es el espectrógrafo de masas que mide la masa atómica de los elementos de una sustancia a partir del sometimiento de la misma a radiación conocida, ionizándola y acelerando los iones por un campo eléctrico y otro magnético para su estudio.

El empleo de filtros es de suma importancia en los espectrómetros para la eliminación de diversas longitudes no interesantes o perturbantes; como se ve, se usa cuarzo con lo que se elimina radiación de más de  $5,5 \mu$ , o películas de agua por ejemplo, que eliminan en un par termoeléctrico radiación de más de  $1,5 \mu$ , o cristal, etc.

En resumen, astronáuticamente, y de modo general, se emplean los siguientes ingenios humanos ETM: detectores iónicos o contadores, todo tipo de fotómetros y fotografía, radio, TV, células fotoeléctricas, espectrómetros, y aparatos MASER; también se usan aparatos de menor importancia como calentadores de microondas, etc.

# CUADRO ESQUEMATICO DE LAS RADIACIONES ETM.

Frecuencia; ciclo/seg	CARACTER FISICO			↓ G=General		↓ D=Detección		
	Longitud de onda	de	onda	DENOMINACION	ORIGEN	APLICACION	EFECTOS	DEFENSA
Å / μ	μ-μm/mm-cm	metros	Nomenclatura	Fuentes	Función en aplicación	Resultados	Detección, Absorción	
10 <sup>24</sup>	3x10 <sup>-6</sup> Å		3x10 <sup>-16</sup> m	PROTONES, etc				ATMOSFERA con lluvia en cascada de partículas secundarias.
9x10 <sup>23</sup>			3,3x10 <sup>-16</sup> m	Rayos cósmicos	ESTRELLAS			
8x10 <sup>23</sup>			3,7x10 <sup>-16</sup> m					
7x10 <sup>23</sup>			4,3x10 <sup>-16</sup> m					
6x10 <sup>23</sup>			5x10 <sup>-16</sup> m					
5x10 <sup>23</sup>			6x10 <sup>-16</sup> m					
4x10 <sup>23</sup>			7,5x10 <sup>-16</sup> m		INVESTIGAC.	DESTRUCCION		
3x10 <sup>23</sup>	10 <sup>-5</sup> Å		10x10 <sup>-16</sup> m		ASTRONOMIA Y MEDICINA		DE LOS TEJIDOS	
2x10 <sup>23</sup>			15x10 <sup>-16</sup> m					
10 <sup>23</sup>			3x10 <sup>-15</sup> m					
9x10 <sup>22</sup>			3,3x10 <sup>-15</sup> m		ESTRELLAS		DISOCIACION DE LA MATERIA	
8x10 <sup>22</sup>			3,7x10 <sup>-15</sup> m					
7x10 <sup>22</sup>	10 <sup>-4</sup> Å		4,3x10 <sup>-15</sup> m				MUERTE	
6x10 <sup>22</sup>			5x10 <sup>-15</sup> m					
5x10 <sup>22</sup>			6x10 <sup>-15</sup> m					
4x10 <sup>22</sup>			7,5x10 <sup>-15</sup> m					
3x10 <sup>22</sup>			10x10 <sup>-15</sup> m					
2x10 <sup>22</sup>		15x10 <sup>-15</sup> m			Detectores Iónicos			
10 <sup>22</sup>			3x10 <sup>-14</sup> m					
9x10 <sup>21</sup>			3,3x10 <sup>-14</sup> m	RAYOS γ fuertes	NUCLEOS			
8x10 <sup>21</sup>			3,7x10 <sup>-14</sup> m		RADIATIV			
7x10 <sup>21</sup>			4,3x10 <sup>-14</sup> m				DESTRUCCION DE TEJIDOS	↑ ATMOSFERA
6x10 <sup>21</sup>			5x10 <sup>-14</sup> m					
5x10 <sup>21</sup>			6x10 <sup>-14</sup> m		GAMMA	MEDICINA y ASTRONOMIA		
4x10 <sup>21</sup>	10 <sup>-3</sup> Å		7,5x10 <sup>-14</sup> m		ISOTOPOS		MUERTE	
3x10 <sup>21</sup>			10x10 <sup>-14</sup> m					
2x10 <sup>21</sup>		1,5x10 <sup>-3</sup> Å		15x10 <sup>-14</sup> m				
10 <sup>21</sup>	3x10 <sup>-3</sup> Å		3x10 <sup>-13</sup> m	RAYOS γ débiles				
9x10 <sup>20</sup>	3,3x10 <sup>-3</sup> Å		3,3x10 <sup>-13</sup> m					
8x10 <sup>20</sup>	3,7x10 <sup>-3</sup> Å		3,7x10 <sup>-13</sup> m					
7x10 <sup>20</sup>	4,2x10 <sup>-3</sup> Å		4,3x10 <sup>-13</sup> m				MUERTE.	
6x10 <sup>20</sup>	5x10 <sup>-3</sup> Å		5x10 <sup>-13</sup> m	RAYOS X duros			Detectores Iónicos	
5x10 <sup>20</sup>	6x10 <sup>-3</sup> Å		6x10 <sup>-13</sup> m					
4x10 <sup>20</sup>	7,5x10 <sup>-3</sup> Å		7,5x10 <sup>-13</sup> m			M		
3x10 <sup>20</sup>	10 <sup>-2</sup> Å		10x10 <sup>-13</sup> m			E	(Contadores Geiger)	↑ ATMOSFERA
2x10 <sup>20</sup>	1,5x10 <sup>-2</sup> Å		15x10 <sup>-13</sup> m		CAPA	D		
10 <sup>20</sup>	3x10 <sup>-2</sup> Å		3x10 <sup>-12</sup> m		↑ ATOMICA INTERNA	I		↓
9x10 <sup>19</sup>	3,3x10 <sup>-2</sup> Å		3,3x10 <sup>-12</sup> m			C		DESTRUCCION DE LOS TEJIDOS.
8x10 <sup>19</sup>	3,7x10 <sup>-2</sup> Å		3,7x10 <sup>-12</sup> m			R		
7x10 <sup>19</sup>	4,2x10 <sup>-2</sup> Å		4,3x10 <sup>-12</sup> m			A		
6x10 <sup>19</sup>	5x10 <sup>-2</sup> Å		5x10 <sup>-12</sup> m			Y		
5x10 <sup>19</sup>	6x10 <sup>-2</sup> Å		6x10 <sup>-12</sup> m			O		
4x10 <sup>19</sup>	7,5x10 <sup>-2</sup> Å		7,5x10 <sup>-12</sup> m			S		
3x10 <sup>19</sup>	0,1 Å	0,01 μm	10x10 <sup>-12</sup> m	RAYOS X medios		DESCARGAS CATODICAS		
2x10 <sup>19</sup>	0,15 Å		15x10 <sup>-12</sup> m					
10 <sup>19</sup>	0,30 Å		3x10 <sup>-11</sup> m					
9x10 <sup>18</sup>	0,33 Å		3,3x10 <sup>-11</sup> m					
8x10 <sup>18</sup>	0,375 Å		3,7x10 <sup>-11</sup> m					
7x10 <sup>18</sup>	0,428 Å		4,3x10 <sup>-11</sup> m				ASTRONOMIA	
6x10 <sup>18</sup>	0,5 Å		5x10 <sup>-11</sup> m					
5x10 <sup>18</sup>	0,6 Å		6x10 <sup>-11</sup> m					
4x10 <sup>18</sup>	0,75 Å		7,5x10 <sup>-11</sup> m					
3x10 <sup>18</sup>	1 Å	0,1 μm	10x10 <sup>-11</sup> m					↑ CALENTAMIENTO
2x10 <sup>18</sup>	1,5 Å		15x10 <sup>-11</sup> m					
10 <sup>18</sup>	3 Å		3x10 <sup>-10</sup> m					↑ IONIZACIONES
9x10 <sup>17</sup>	3,3 Å		3,3x10 <sup>-10</sup> m					↓
8x10 <sup>17</sup>	3,7 Å		3,7x10 <sup>-10</sup> m					
7x10 <sup>17</sup>	4,2 Å		4,3x10 <sup>-10</sup> m					
6x10 <sup>17</sup>	5 Å		5x10 <sup>-10</sup> m	RAYOS X blandos				↑ ATMOSFERA
5x10 <sup>17</sup>	6 Å		6x10 <sup>-10</sup> m					↓
4x10 <sup>17</sup>	7,5 Å		7,5x10 <sup>-10</sup> m					
3x10 <sup>17</sup>	10 Å	0,001 μm	10x10 <sup>-10</sup> m					
2x10 <sup>17</sup>	15 Å		15x10 <sup>-10</sup> m					
10 <sup>17</sup>	30 Å		3x10 <sup>-9</sup> m					
9x10 <sup>16</sup>	33,3 Å		3,3x10 <sup>-9</sup> m					
8x10 <sup>16</sup>	37,5 Å		3,7x10 <sup>-9</sup> m					
7x10 <sup>16</sup>	42,8 Å		4,3x10 <sup>-9</sup> m	UV Corto			MEDICINA.	
6x10 <sup>16</sup>	50 Å		5x10 <sup>-9</sup> m				PODER BACTERICIDA	
5x10 <sup>16</sup>	60 Å		6x10 <sup>-9</sup> m					↑ FLOURESCENCIA
4x10 <sup>16</sup>	75 Å		7,5x10 <sup>-9</sup> m					↑ Absorción por el Nitrógeno y Oxígeno.
3x10 <sup>16</sup>	100 Å	0,01 μm	10x10 <sup>-9</sup> m					↓
2x10 <sup>16</sup>	150 Å		15x10 <sup>-9</sup> m					
10 <sup>16</sup>	300 Å		3x10 <sup>-8</sup> m	UV Medio				↑ CALENTAMIENTO
9x10 <sup>15</sup>	333 Å		3,3x10 <sup>-8</sup> m					
8x10 <sup>15</sup>	375 Å		3,7x10 <sup>-8</sup> m					
7x10 <sup>15</sup>	428 Å		4,3x10 <sup>-8</sup> m					
6x10 <sup>15</sup>	500 Å		5x10 <sup>-8</sup> m					
5x10 <sup>15</sup>	600 Å		6x10 <sup>-8</sup> m					
4x10 <sup>15</sup>	750 Å		7,5x10 <sup>-8</sup> m	UV Largo			ASTRONOMIA	↑ Ionización
3x10 <sup>15</sup>	1000 Å	0,1 μm	10x10 <sup>-8</sup> m					↑ ->atmosférica

2x10 <sup>15</sup>	1500	0,15 μ	15x10 <sup>15</sup> (- 8)			Empleado pa-0		Absorción
10 <sup>15</sup>	3000	0,30 μ	3x10 <sup>15</sup> (- 7)			ra detectar G	electrones	por el Ozono
9x10 <sup>14</sup>	3333	0,33 μ	3,3x10 <sup>14</sup> (- 7)			falsifica- R	desplazados	↓
8x10 <sup>14</sup>	3659					ción de do- A		
8x10 <sup>14</sup>	3750	0,375 μ	3,7x10 <sup>14</sup> (- 7)	VIOLETA		IN- cumentos.		
7x10 <sup>14</sup>	4280	0,428 μ	4,3x10 <sup>14</sup> (- 7)	AZUL	LUZ	Atomos CAN	Telescopio. I	OJO Calenta- 3900 A ↓
6x10 <sup>14</sup>	5000	0,50 μ	5x10 <sup>14</sup> (- 7)	VERDE	VISI-	Molec. DES	Astronomía. A	HU- miento de Transparencia
5x10 <sup>14</sup>	6000	0,60 μ	6x10 <sup>14</sup> (- 7)	AMARILLO	BLE	Cuerp. CEN	Navegación. MA-	cuerpos atmosférica.
4x10 <sup>14</sup>	7500	0,75 μ	7,5x10 <sup>14</sup> (- 7)	NARANJA/ROJO		calien CIA	LASER y es- D	NO en super- VENTANA OPTIC
3x10 <sup>14</sup>	10 <sup>4</sup> A /	1 μ /	10x10 <sup>14</sup> (- 7)			tes \ /	pectrometr. I	\ ficies. 7600 A ↑
2x10 <sup>14</sup>	1,5x10 <sup>4</sup> /	1,5 /	15x10 <sup>14</sup> (- 7)			↑	↑	↑
10 <sup>14</sup>	3x10 <sup>4</sup> /	3 /	3x10 <sup>14</sup> (- 6)	IR Cercano		MASER	E	Calentamiento --> Absorc. de
9x10 <sup>13</sup>		3,3 /	3,3x10 <sup>13</sup> (- 6)				R	en superficies H2O para espe
8x10 <sup>13</sup>		3,7 /	3,7x10 <sup>13</sup> (- 6)			↑	F	ASTRONOMIA S
7x10 <sup>13</sup>		4,2 /	4,3x10 <sup>13</sup> (- 6)	IR Medio			R	↑
6x10 <sup>13</sup>	5 μ		5x10 <sup>13</sup> (- 6)			↓	A	CUERPOS
5x10 <sup>13</sup>	6		6x10 <sup>13</sup> (- 6)			↑	R	CALIENTES
4x10 <sup>13</sup>	7,5		7,5x10 <sup>13</sup> (- 6)			↑	O	↓
3x10 <sup>13</sup>	10		10x10 <sup>13</sup> (- 6)	IR Lejano			J	
2x10 <sup>13</sup>	15		15x10 <sup>13</sup> (- 6)			↓	O	
10 <sup>13</sup>	30		3x10 <sup>13</sup> (- 5)	IR Extremo				↓
9x10 <sup>12</sup>	33,3		3,3x10 <sup>12</sup> (- 5)			↑		
8x10 <sup>12</sup>	37,5 μ		3,7x10 <sup>12</sup> (- 5)			↓		
7x10 <sup>12</sup>	42,8		4,3x10 <sup>12</sup> (- 5)			↓		
6x10 <sup>12</sup>	50		5x10 <sup>12</sup> (- 5)			ESTRELLAS		
5x10 <sup>12</sup>	60		6x10 <sup>12</sup> (- 5)			↓		
4x10 <sup>12</sup>	75		7,5x10 <sup>12</sup> (- 5)					
3x10 <sup>12</sup>	100		10x10 <sup>12</sup> (- 5)					
2x10 <sup>12</sup>	150		15x10 <sup>12</sup> (- 5)					
10 <sup>12</sup>	300		3x10 <sup>12</sup> (- 4)	IR Extremo				
9x10 <sup>11</sup>	333		3,3x10 <sup>11</sup> (- 4)					
8x10 <sup>11</sup>	375		3,7x10 <sup>11</sup> (- 4)					
7x10 <sup>11</sup>	428		4,3x10 <sup>11</sup> (- 4)					
6x10 <sup>11</sup>	500		5x10 <sup>11</sup> (- 4)					
5x10 <sup>11</sup>	600		6x10 <sup>11</sup> (- 4)					
4x10 <sup>11</sup>	750		7,5x10 <sup>11</sup> (- 4)					
3x10 <sup>11</sup>	1000 μ	1 mm	10x10 <sup>11</sup> (- 4)			↑		
2x10 <sup>11</sup>	1500	1,5	15x10 <sup>11</sup> (- 4)			↑		
10 <sup>11</sup>	3000	3	3x10 <sup>11</sup> (- 3)	EHF			A	
9x10 <sup>10</sup>	3300	3,3	3,2x10 <sup>10</sup> (- 3)				P	Astronomía
8x10 <sup>10</sup>	3750	3,75	3,7x10 <sup>10</sup> (- 3)	MICROONDAS			R	radiotelesc. E
7x10 <sup>10</sup>	4280	4,28	4,3x10 <sup>10</sup> (- 3)	milimétricas			A	RADAR
6x10 <sup>10</sup>	5000	5	5x10 <sup>10</sup> (- 3)				I	
5x10 <sup>10</sup>	6000	6	6x10 <sup>10</sup> (- 3)	Banda 11			C	↑
4x10 <sup>10</sup>	7500	7,5	7,5x10 <sup>10</sup> (- 3)				R	↑
3x10 <sup>10</sup>	10 <sup>4</sup> μ	1 cm	10x10 <sup>10</sup> (- 3)			ESTRELLAS		
2x10 <sup>10</sup>		1,5	15x10 <sup>10</sup> (- 3)			↓		
10 <sup>10</sup>		3	3x10 <sup>10</sup> (- 2)	SHF			N	
9x10 <sup>9</sup>		3,3	3,3x10 <sup>9</sup> (- 2)				E	Astronomía
8x10 <sup>9</sup>		3,7	3,7x10 <sup>9</sup> (- 2)	MICROONDAS			D	radiotelesc. I
7x10 <sup>9</sup>		4,3	4,3x10 <sup>9</sup> (- 2)	centimétricas			A	E
6x10 <sup>9</sup>		5	5x10 <sup>9</sup> (- 2)				C	MLS Aterri- U
5x10 <sup>9</sup>		6	6x10 <sup>9</sup> (- 2)	Banda 10			T	zaje. I
4x10 <sup>9</sup>		7,5	7,5x10 <sup>9</sup> (- 2)				R	RADAR. T
3x10 <sup>9</sup>		10	10x10 <sup>9</sup> (- 2)				O	RADIO. O
2x10 <sup>9</sup>		15 cm	15x10 <sup>9</sup> (- 2)				I	↑
1,42x10 <sup>9</sup>		21,1 cm		emisión del HIDROGENO NEUTRO			C	Astronomía
10 <sup>9</sup>		30	3x10 <sup>9</sup> (- 1)				O	radiotelesc. ↓
9x10 <sup>8</sup>		33	3,3x10 <sup>8</sup> (- 1)	UHF			S	
8x10 <sup>8</sup>		37,5	3,7x10 <sup>8</sup> (- 1)	ONDAS			O	RADAR.
7x10 <sup>8</sup>		42,8	4,3x10 <sup>8</sup> (- 1)	ULTRACORTAS			N	↓
6x10 <sup>8</sup>		50 cm	5x10 <sup>8</sup> (- 1)	decimétricas			D	TV. RADIO.
5x10 <sup>8</sup>		60	6x10 <sup>8</sup> (- 1)				A	Comunicación
4x10 <sup>8</sup>		75	7,5x10 <sup>8</sup> (- 1)	Banda 9			S	A espacial.
3x10 <sup>8</sup>	10 <sup>10</sup> μ	1 m.					P	
2x10 <sup>8</sup>		1,5					C	
10 <sup>8</sup>		3		VHF			O	
9x10 <sup>7</sup>		3,33					R	Astronomía
8x10 <sup>7</sup>		3,75		ONDAS MUY			A	Radio
7x10 <sup>7</sup>		4,28		CORTAS			T	RADAR
6x10 <sup>7</sup>		5		Métricas			O	TV
5x10 <sup>7</sup>		6					S	Comunica- ción aérea y
4x10 <sup>7</sup>		7,5		Banda 8				de corta
3x10 <sup>7</sup>		10					↑	distancia
2x10 <sup>7</sup>		15						
10 <sup>7</sup>		30		HF			ESTRELLAS	
9x10 <sup>6</sup>		33,3						
8x10 <sup>6</sup>		37,5		ONDA CORTA			E	
7x10 <sup>6</sup>		42,8		Decamétricas			L	RADAR y TV ↑
6x10 <sup>6</sup>		50					E	
5x10 <sup>6</sup>		60		Banda 7			C	Comunicación
4x10 <sup>6</sup>		75					T	media y lar- T
3x10 <sup>6</sup>		100					R	↑
2x10 <sup>6</sup>		150					O	
10 <sup>6</sup>		300		MF			N	
9x10 <sup>5</sup>		333					I	Insensibilidad
8x10 <sup>5</sup>		375		ONDA MEDIA			C	RADAR. S
7x10 <sup>5</sup>		428		hectométricas			O	TV. ↓



