



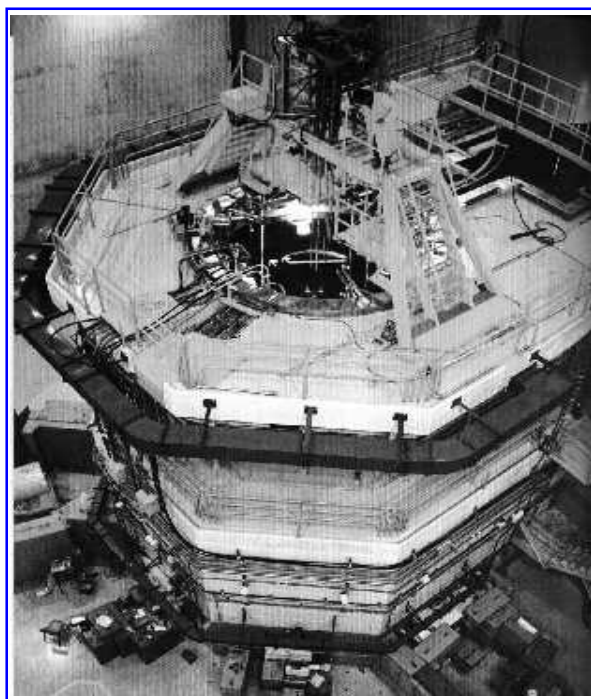
MINISTERIO DE EDUCACIÓN

DINFOCAD/UCAD

DINESST/UDCREES

PLANCAD
SECUNDARIA 2000

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y AMBIENTE



Fascículo Autoinstructivo

2.5

**ESTRUCTURA DINÁMICA
DE LA MATERIA**

Producción y Publicación:
MINISTERIO DE EDUCACIÓN
DINFOCAD/UCAD/PLANCAD
Van de Velde 160 San Borja
Lima.

Autoría:
UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
Facultad de Educación

Equipo de Trabajo:
Alina Gómez Loarte
Luis Huamán Mesía
Carmen Lauro Guzmán
Daniel Quineche Meza
César Serra Guerra
Irma Zúñiga Estrada

Corrección de Estilo:
Juan Carlos Cruzado Castillo

Diagramación:
Miguel Incio Barandiarán
Rosa Támara Sarmiento

Revisión de textos:
PLANCAD:
Jorge Jhoncon Kooyip
UDCREES:
Elizabeth Quinteros Hajar
Héctor Yauri Benites

Tiraje:

Índice

Presentación	
I. Teoría atómica	1
1.1 Descubrimiento del átomo y del electrón	1
1.2 Modelos atómicos	2
1.2.1 Modelo Atómico de John Dalton	2
1.2.2 Modelo Atómico de Thomson	3
1.2.3 Modelo Atómico de Rutherford	3
1.2.4 Modelo Atómico de Bohr	4
1.3 Modelo mecánico cuántica	5
1.3.1 La propuesta de De Broglie	5
1.3.2 La ecuación de onda de Schrödinger	6
1.3.3 El principio de incertidumbre de Heisenberg	6
1.3.4 Números cuánticos	7
1.3.5 Configuración electrónica	9
1.4 Descubrimientos recientes y consecuencias	11
1.4.1 Los límites de la mecánica cuántica	11
1.4.2 Nuevas partículas elementales	12
1.4.3 Nuevas explicaciones	12
II. Energía nuclear	16
2.1 Radiactividad natural.	16
2.2 Partículas alfa	17
2.3 Partículas beta	17
2.4 Rayos gamma	18
2.5 Medición de la radiación	18
2.6 Transmutación artificial	19
2.7 Fisión nuclear	20
2.8 Fusión nuclear	22
2.9 Aplicaciones de la energía nuclear	23
Autoevaluación	26
Glosario	27
Bibliografía	28

INTRODUCCIÓN A LOS MODULOS PLANCAD

En la actualidad, los docentes de educación secundaria, del área de ciencia, tecnología y ambiente, tienen que enfrentar muchas dificultades para acceder a información especializada reciente que les permita profundizar en contenido científico actualizado; y, en forma paralela, familiarizarse y manejar estrategias metodológicas dinámicas para facilitar a sus alumnos el aprendizaje del área.

Por ello, el Ministerio de Educación, a través del programa de Mejoramiento de la Calidad de la Educación Peruana y del Plan Nacional de Capacitación Docente 2000 (PLANCAD-MECEP), con la colaboración de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, a través de la Dirección de Educación Continua, de su Facultad de Educación, ha elaborado cuatro módulos autoinstructivos para satisfacer esta necesidad y así contribuir al mejoramiento de la calidad de la educación nacional, vía el enriquecimiento personal y profesional del potencial humano que existe en el cuerpo docente del país.

Cada módulo consta en ocho (8) fascículos monotemáticos¹, con contenidos seleccionados de entre aquellos que conforman la estructura curricular básica para educación secundaria, en el área de ciencia, tecnología y ambiente.

Cada fascículo, a su vez, ha sido desarrollado para cubrir dos aspectos fundamentales de la actividad educativa. Por un lado, contiene información científica actualizada, trabajada de manera accesible para ser asimilada con facilidad y, al mismo tiempo, adecuarla a las necesidades y posibilidades de acción en el aula. Por otro lado, y aunque este no es su objetivo central, ofrece algunas estrategias metodológicas dinámicas que promueven la participación activa en el análisis de los temas y materiales presentados en una situación de aprendizaje para facilitar, en los alumnos, la construcción de sus propios conocimientos.

La estructura del fascículo está diseñada para ser desarrollado a través de tres momentos de actividad en su manejo.

- Actividades iniciales o de entrada.
- Actividades de proceso, incluyendo acciones de investigación-experimentación
- Actividades de salida o finales

Al final de cada fascículo, se presenta una síntesis de los contenidos tratados, seguida de una autoevaluación final. Se incluye, también, un glosario básico que explica o define aquellos términos que son nuevos, o que aún siendo conocidos, son a menudo utilizados erróneamente. El fascículo se completa con unas referencias bibliográficas acerca de los materiales consultados o que pudieran servir para una mayor profundización en función del interés del docente usuario de este material.

Ahora, apreciado amigo y colega te invitamos a conocer este fascículo que ponemos en tus manos y a disfrutar con él, tratando de redescubrir y entender como funciona el universo y el mundo en que vivimos y enriquecerte, personal y profesionalmente, para cuidarlo mejor.

¹ Esto es, elegidos en un campo temático especial o referidos a un tema específico (de allí lo de monotemático) del saber humano, pero analizados desde varios de sus diferentes aspectos constitutivos, con el auxilio de instrumentos cognoscitivos y metodológicos de diferentes disciplinas curriculares.

I. TEORÍA ATÓMICA

Estimado colega te invitamos a recorrer el fascículo, esperando contribuir en la actualización de tus conocimientos.



¿Qué idea tienes acerca de la discontinuidad de materia?

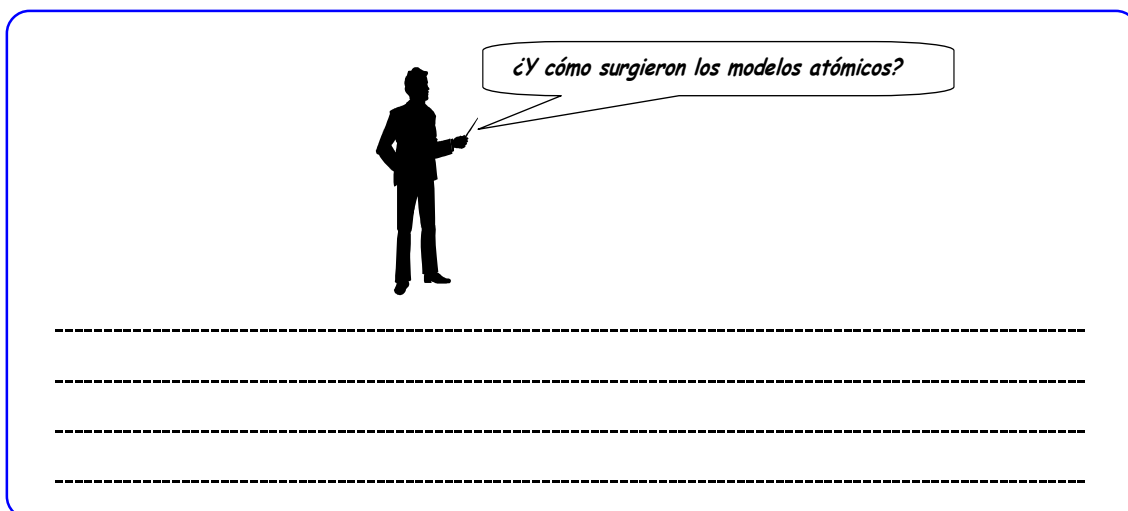
1.1 DESCUBRIMIENTO DEL ÁTOMO Y DEL ELECTRÓN

Antiguamente se creía que la materia estaba formada por tierra, fuego, aire y agua. De acuerdo a esta creencia, la materia se podía dividir indefinidamente. Esta idea duró aproximadamente cerca de dos mil años. Sin embargo, hubieron otros pensadores –como Demócrito, Leucipo y Epicuro entre los griegos, y Lucrecio, entre los romanos (siglo VI y V a.C)– quienes sostenían que la materia se podía dividir hasta obtener corpúsculos independientes, pequeñísimos, indivisibles, a los que llamaron átomos (en griego "indivisible") de distintas clases, diferenciados por su tamaño, forma, posición y movimiento.

Estas cuestiones fundamentales quizás fueron soslayadas por los primeros científicos modernos. Galileo, si bien logró avances asombrosos en algunos aspectos de la ciencia, aceptó la tesis de Demócrito que habían sido rechazadas por Platón y Aristóteles, no profundizó en cuales podían ser los componentes últimos de la materia y, si lo hizo, fue desde puntos de vista más teológicos que científicos.

Sin embargo los trabajos de los científicos como Roberto Boyle, acerca del comportamiento de los gases en la que se suponía que estas están formados por átomos, Isaac Newton, Daniel Bernouilli (quienes realizaron experiencias sobre el comportamiento de los gases) posteriormente John Dalton y otros (como veremos más adelante) han contribuido al desarrollo de los diferentes modelos que hasta hoy conocemos.

1.2 MODELOS ATÓMICOS



¿Y cómo surgieron los modelos atómicos?

1.2.1 Modelo Atómico de John Dalton

La teoría Atómica de Dalton marca el principio de la era moderna de la Química. Las hipótesis acerca de la naturaleza de la materia en las que Dalton basó su teoría se pueden resumir en lo siguiente:

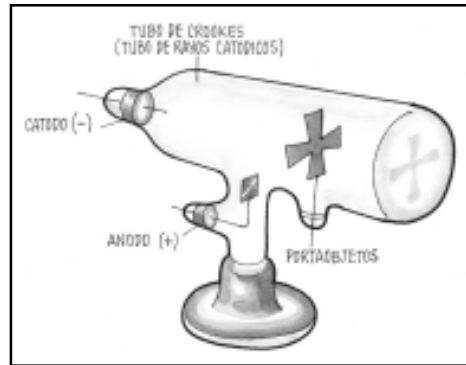
- ♦ La materia es discontinua; está formada por partículas muy pequeñas e indestructibles, denominadas "átomos", que se hallan en continuo movimiento. Existen átomos simples, y átomos compuestos.
- ♦ Los átomos de un mismo elemento son iguales entre sí, fundamentalmente en masa y volumen.
- ♦ Los átomos de diferentes elementos difieren entre sí, fundamentalmente en masa y volumen.
- ♦ Las sustancias compuestas están formadas por "átomos compuestos" diferentes.
- ♦ Cuando los átomos se combinan lo hacen en una relación de números enteros y pequeños. Por ejemplo, en el agua están combinados dos átomos de hidrógenos con un átomo de oxígeno (relación 2/1). En el cloruro de sodio, la relación entre el número de átomos de cloro y sodio es 1/1.
- ♦ Los átomos permanecen indivisibles durante las reacciones químicas.
- ♦ Volúmenes iguales de gases diferentes en iguales condiciones de presión y temperatura contienen igual número de átomos, estableciendo las leyes de las proporciones múltiples.

Posteriormente este modelo pasó a ser inconsistente por las razones siguientes:

- Experimento de Faraday en 1833 (Electrólisis).
- Descubrimientos de los rayos catódicos por William Crookes.
- Descubrimiento de los rayos X en 1895 por Röntgen.
- Descubrimiento de la radiactividad en 1896 por Becquerel.
- Descubrimiento del "efecto eléctrico" en 1888 por Hertz.

1.2.2 Modelo Atómico de Thomson

William Crookes, llevó a cabo estudios en un tubo de vidrio al vacío: cuando se conectaban los electrodos a la fuente de voltaje mediante cables separados, un disco adquiría carga positiva y el otro carga negativa, de modo que éste último comenzaba a emitir luz. A este tubo se le conoce como *Tubo de descarga de gas*. Crookes observó también que el rayo se desviaba al colocar un imán cerca del tubo. Concluyendo que este rayo luminoso, que ahora se conoce como *rayo catódico*, estaba formado por partículas cargadas.



Con el descubrimiento de los rayos catódicos realizado por William Crookes, J.J. Thomson fundamentó la existencia de los electrones y Goldstein demostró que era posible formar partículas positivas. Thomson ofreció entonces una explicación, conocida como modelo del "*budín de pasas*" del átomo: Imaginó un átomo con cargas negativas (electrones) dispersas entre un número igual de cargas positivas (protones). El modelo de Thomson resultó ser incorrecto, (por el descubrimiento de las partículas alfa realizadas por Rutherford); pero ofrecía una explicación de los hechos hasta entonces conocidos.

1.2.3 Modelo Atómico de Rutherford

Ernest Rutherford (1871 - 1937), físico neocelandés, investigó la radiación del Uranio, Radio y otros elementos radiactivos.

Cuando hacía pasar esta radiación a través de un campo magnético intenso, observó que los rayos se desviaban en distintas direcciones. Los rayos alfa, α , que Rutherford descubrió, tienen carga doblemente positiva, $2+$; por ello se desviaban hacia una placa con carga negativa. Él encontró que su masa era cuatro veces mayor que la del átomo de hidrógeno. Los rayos beta, β , resultaron ser idénticos a los rayos catódicos, que son corrientes de electrones con carga negativa. $1-$. Los rayos gamma, γ , no eran desviados por el campo magnético; encontró que eran muy parecidos a los rayos x pero aún más penetrantes y se caracterizan por carecer de masa y carga y no se ven afectados por un campo eléctrico externo.

Después de diferentes experimentos que Rutherford realizó, llegó a la conclusión:

- ♦ El átomo está formado por un núcleo central, cargado positivamente, rodeado de electrones, girando a su alrededor, a manera de planetas, a grandes distancias.
- ♦ El núcleo es muy pequeño con relación al tamaño del átomo, pero concentra casi toda la masa del mismo.
- ♦ La masa de las cargas positivas (protones) es aproximadamente igual a la mitad de la masa del átomo.

Este modelo presentaba algunas dificultades como era la inestabilidad y la indeterminación del tamaño atómico. Sin embargo la solución a estas dificultades fue propuesta por Niels Bohr en su modelo atómico.

El modelo de Rutherford

Representaba el átomo como un sistema solar en miniatura en el que los electrones se movían como planetas alrededor del núcleo.

1.2.4 Modelo Atómico de Bohr

En 1913 el físico danés Niels Bohr propuso un modelo atómico que pudiera explicar los espectros discontinuos en algunos elementos, basándose en la teoría cuántica. Esta teoría fue dada a conocer por Max Planck en 1900, y sostiene que la energía se transmite en forma discontinua, en unidades discretas o "paquetes" llamados "cuantos de energía".

La interpretación de Bohr puede resumirse de la siguiente manera:

- ♦ Los electrones pueden girar en órbitas determinadas sin perder energía.
- ♦ En los niveles permitidos o definidos de energía los electrones no absorben ni emiten energía; por ello se les denomina "niveles estacionarios".
- ♦ Cuando el electrón gira en la órbita más cercana al núcleo, el átomo se encuentra en su estado más estable o "normal" o "estado basal", de energía mínima. Si el átomo recibe un impulso energético externo (luz, calor, electricidad), el electrón puede "saltar" a otra órbita más alejada, es decir, de mayor energía. El átomo que contiene el electrón de uno de estos estados recibe el nombre de "átomo excitado"; es decir, que el átomo absorbe energía cuando el electrón "salta" a un nivel más cercano al núcleo.
- ♦ La diferencia de energía al pasar el electrón de uno a otro nivel es proporcional a la frecuencia de la radiación emitida o absorbida. Es decir:

$$\frac{E_2 - E_1}{\nu} = \text{constante} = h \quad \text{o} \quad \text{bien} \quad E_2 - E_1 = h\nu$$

Siendo:

ν = frecuencia de la radiación emitida o absorbida

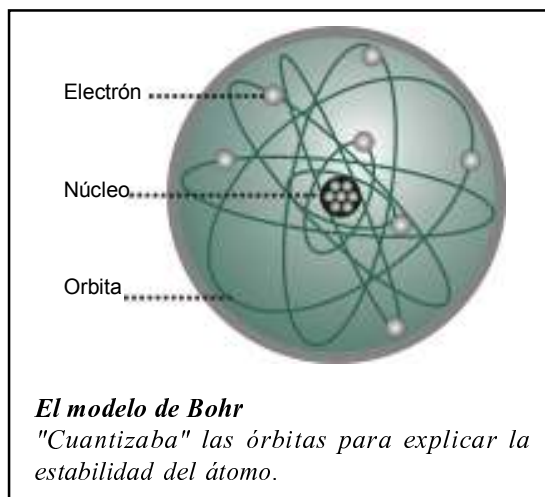
E_2 = energía de la órbita más alejada del núcleo

E_1 = energía de la órbita más cercana al núcleo

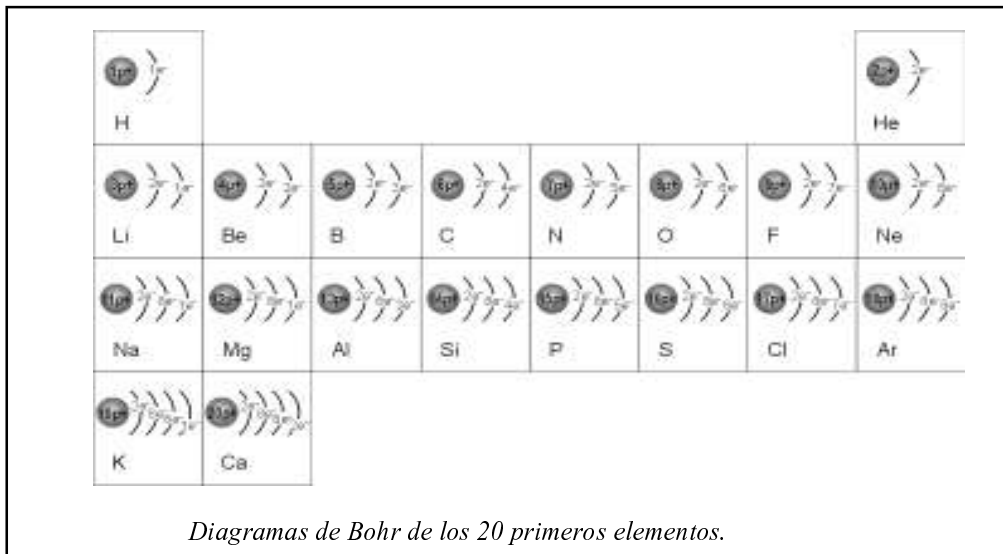
La constante de proporcionalidad (h) se denomina *constante de Planck*. La radiación emitida o absorbida puede ser asimilada a la emisión o absorción de un "cuanto" cuya energía es $h\nu$.

Las órbitas o capas del modelo de Bohr son los niveles energéticos. El salto de un electrón de un nivel superior a otro inferior produce la emisión de luz que, experimentalmente, corresponde al espectro de emisión del hidrógeno.

Los niveles de energía se encuentran definidos por ciertos números cuánticos principales, $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \text{ y } 7$ y el número máximo de electrones que puede ocupar cada capa expresado por la relación $2n^2$ donde n es el número cuántico principal.



Cuál es la diferencia entre un átomo en "estado basal" y en "estado excitado"?



¿Cuáles fueron las limitaciones del modelo de Bohr?

Solo es aplicable para átomos con 1 sólo electrón.

Las orbitas que describen los electrones son circulares.

Sin embargo este modelo fue modificado:

- 1° Por Sommerfeld que 1916 logró demostrar que los electrones no solo pueden girar en forma circular, sino también en forma elíptica.
- 2° Por la teoría atómica moderna, que es un modelo matemático basado en la mecánica cuántica.

1.3 MODELO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

Este modelo presenta un átomo no del tipo físico, es decir que no es una descripción física exacta del átomo, sino mas bien matemático, en el que el átomo ha sido concebido en base a cálculos matemáticos como resultado de las contribuciones de destacados científicos, entre ellos Einstein, Planck, De Broglie, Bohr, Schrödinger y Heisenberg.

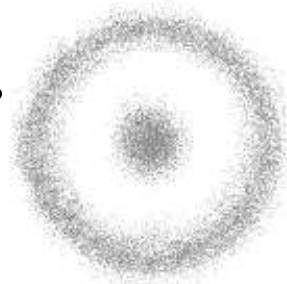
1.3.1 La propuesta de De Broglie

Louis de Broglie, estudiante francés graduado en Física, escribió en 1924 su tesis doctoral en la que propuso que un rayo de electrones debería presentar características de onda y comportarse como un haz de luz.

1.3.2 La ecuación de onda de Schrödinger

En 1926, Erwin Schrödinger, uno de los estudiantes graduados de Bohr desarrolló ecuaciones matemáticas detalladas con base en el trabajo de de Broglie. Estas ecuaciones combinaban las propiedades ondulatorias y la naturaleza de la partícula de un electrón con las restricciones cuánticas, en complejas ecuaciones de probabilidad.

Orbitales: los electrones con diversos valores de momento angular ocupan regiones del espacio como éstas. La intensidad del sombreado indica la probabilidad de encontrar un electrón a esa distancia.



El modelo de Schrödinger

Abandonó la idea de órbitas precisas y las sustituyó por descripciones de las regiones del espacio (llamadas orbitales) donde es más probable que se encuentre los electrones.

Con las ecuaciones de Schrödinger, se obtienen valores que corresponden a regiones de alta probabilidad electrónica en torno a un núcleo. Al igual que una nube de electrones, las regiones de alta probabilidad electrónica no son órbitas definidas de tipo planetario, como propone el modelo de Bohr, sino que representan niveles de energía menos definidos y regiones llamadas subniveles o subcapas. Cada uno de estos subniveles contiene uno o más orbitales. Cada orbital es una región ocupada por un máximo de dos electrones con espines opuestos.

1.3.3 El principio de incertidumbre de Heisenberg

El principio de incertidumbre permite entender por qué es posible la naturaleza (onda-partícula) de la radiación y la materia. Si se trata de determinar experimentalmente, si la radiación es una onda o una partícula, se encuentra que un experimento que fuerce a la radiación a revelar su carácter ondulatorio, suprime fuertemente su carácter corpuscular. Si el experimento se modifica para que revele el carácter corpuscular, se suprimen las características ondulatorias. En una misma situación experimental, no es posible confrontar los aspectos ondulatorio y corpuscular. Tanto la radiación como la materia semejan monedas que pueden desplegar una u otra cara a voluntad, pero nunca ambas simultáneamente. Desde luego que esta es la esencia del principio de complementariedad de Bohr; los conceptos de onda y partícula en lugar de contradecirse, se complementan.

El principio de incertidumbre también hace evidente la necesidad de que los sistemas cuánticos se expresen en términos de probabilidad. En la mecánica clásica, si se conoce exactamente la posición y el impulso de cada partícula, en algún instante, en un siste-

Desde los tiempos de Dalton a los Schrödinger, el modelo del átomo ha sufrido múltiples variaciones.

ma aislado, entonces se puede predecir el comportamiento exacto de las partículas del sistema, en todo tiempo futuro; sin embargo en mecánica cuántica, el principio de incertidumbre muestra que lo anterior es imposible de hacer en sistemas que implican distancias e impulsos pequeños, ya que es imposible saber con la precisión requerida, las posiciones e impulsos instantáneos de las partículas. Consecuentemente, sólo se podrán predecir comportamientos *probables* de estas partículas.

1.3.4 Números cuánticos

La mecánica cuántica establece los siguientes números cuánticos para describir la distribución de los electrones en el átomo:

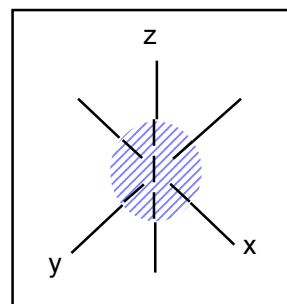
- ♦ **El Número Cuántico Principal (n).** El número cuántico principal (n), se le asigna un número positivo entero 1, 2, 3 comenzando por $n = 1$ para el primer nivel de energía, el más cercano al núcleo.

Sabías que:

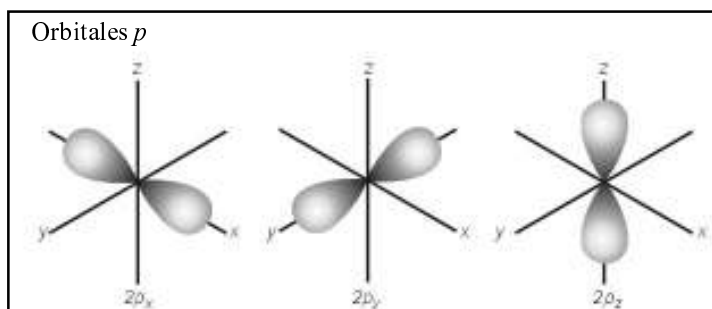
El nombre de números cuánticos se basa en la teoría cuántica y la ecuación que explica en forma satisfactoria el movimiento de los electrones, es la ecuación de onda de Dirac-Jordan cuya solución requiere de cuatro parámetros cuánticos, estos son: n, l, m_l, m_s .

- ♦ **El número cuántico azimutal (l)** indica la "forma" de los orbitales. Los valores de l dependen del valor del número cuántico principal. Cada subnivel tiene uno o más orbitales atómicos que poseen una forma tridimensional específica. Los orbitales se designan mediante las letras minúsculas s, p, d y f . Además, cada orbital puede contener un máximo de dos electrones (un par) que deberán tener espín opuesto. Esta idea fue una importante contribución realizada en 1925 por Wolfgang Pauli, y se le conoce como el principio de exclusión de Pauli.

-**Orbitales s**, los primeros dos electrones de cada nivel de energía, se encuentra en una región donde la probabilidad electrónica está representada por un orbital "s" con simetría esférica. Estos orbitales se designan como $1s, 2s, 3s$, etc. El orbital $3s$, por ejemplo, es más grande que el orbital $1s$. Así todos y cada uno de los niveles de energía tienen un subnivel s con un único orbital s de forma esférica, que puede contener un par de electrones con espín opuesto. Los electrones de los orbitales más alejados del núcleo de un átomo tienen más energía que los electrones cercanos al núcleo.

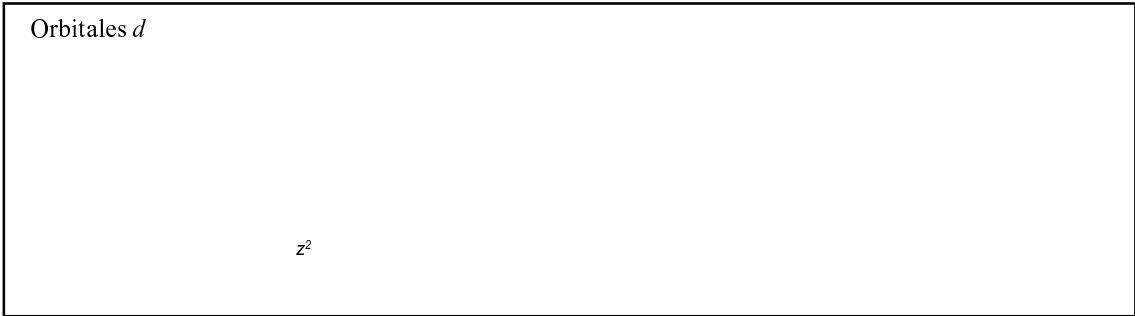


-**Orbitales p**, a partir del segundo nivel energético, y para todos los niveles subsecuentes, hay un subnivel s y también un subnivel "p". Cada subnivel p consiste



en tres orbitales p que tienen la misma energía pero distintas orientaciones en el espacio. Por ejemplo si tenemos $n = 2$ y $\ell = 1$. se tendrán por lo tanto tres orbitales $2p$: $2p_x$, $2p_y$ y $2p_z$. La letra del subíndice indica el eje a lo largo del cual se encuentra orientado el orbital. Estos tres orbitales son idénticos en tamaño, forma y energía; difieren entre sí sólo en su orientación.

-**Orbitales d y f**, a partir del tercer nivel de energía, hay también un subnivel "d" con un conjunto de cinco orbitales capaces de contener un total de cinco pares de electrones, para dar un máximo de 10 electrones d en un subnivel d. Las formas que corresponden a los orbitales d son más complejas que la de los orbitales s y p. A partir del cuarto nivel energético, hay un subnivel "f" con un conjunto de siete orbitales capaces de contener un total de siete pares de electrones, para dar un máximo de 14 electrones f en un subnivel f.



- ♦ **El número cuántico magnético (m_ℓ)**. Describe la orientación de los orbitales electrónicos en el espacio. Cada subnivel contiene uno o más orbitales electrónicos. Para cada cierto valor de ℓ hay $(2\ell + 1)$ valores enteros de m_ℓ , como sigue:

$$-\ell, (-\ell + 1), \dots, 0, \dots, (+\ell - 1) + \ell$$

Si $\ell = 0$, entonces $m_\ell = 0$. Si $\ell = 1$, entonces hay $\{(2 \times 1) + 1\}$ o sea, tres valores de m_ℓ es decir -1, 0, y 1. Si $\ell = 2$, hay $\{(2 \times 2) + 1\}$, cinco valores de m_ℓ , -2, -1, 0, 1, y 2. El número de valores de m_ℓ indica el número de orbitales de una subcapa con un valor específico de ℓ .

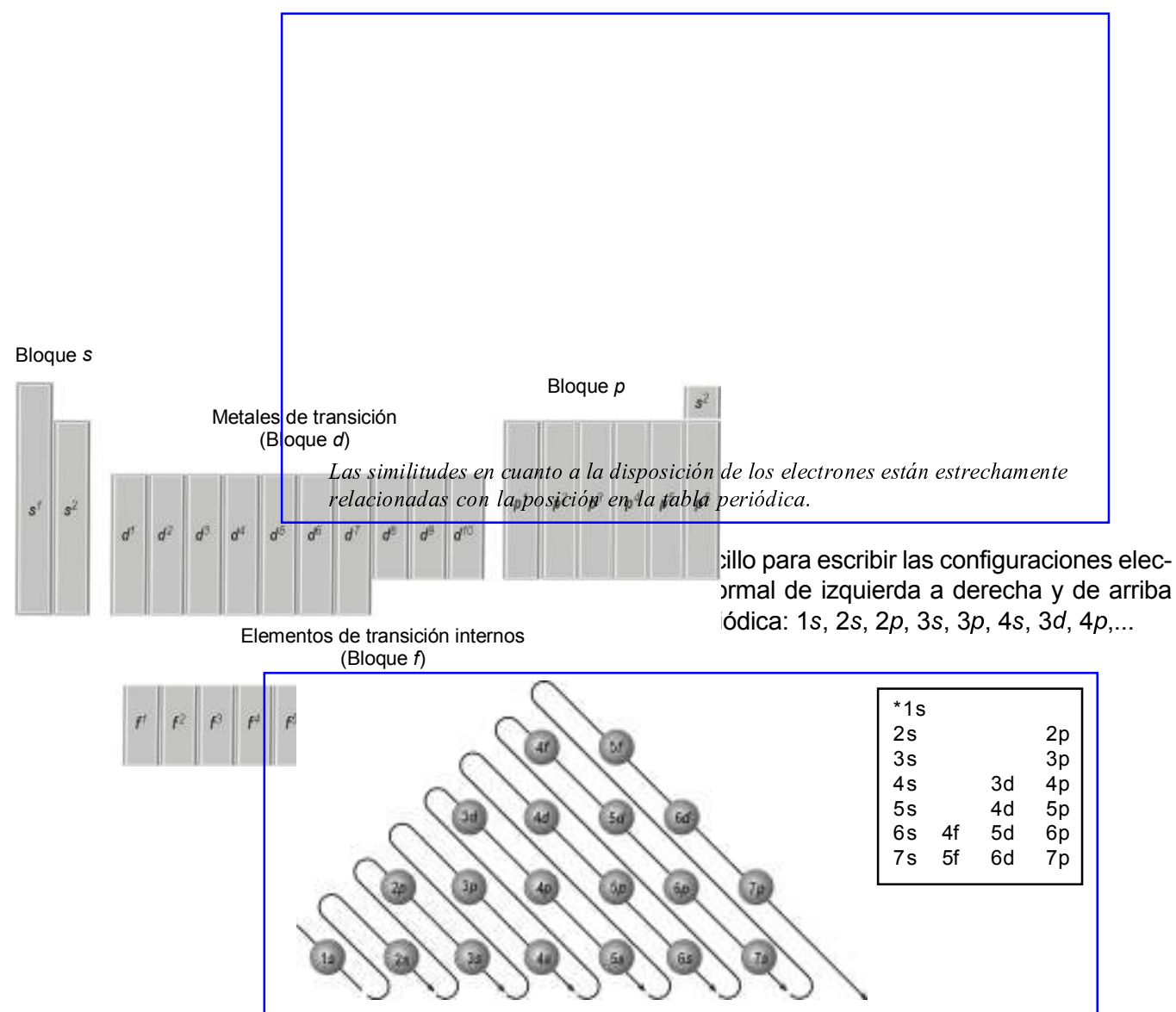
- ♦ **El número cuántico de spin (m_s)**. Describe los posibles movimientos de giro o rotación del electrón sobre su propio eje. Puede tener valores de $-\frac{1}{2}$ o $+\frac{1}{2}$, uno es en sentido de las manecillas del reloj y el otro en sentido inverso.

Niveles de energía (n)	Subniveles $\ell = (n - 1)$	Número de orbitales posible	Electrones en los orbitales	Número máximo de electrones
1	s	1	$\frac{1\downarrow}{s}$	s^2
2	p	3	$\frac{1\downarrow}{p_x} \quad \frac{1\downarrow}{p_y} \quad \frac{1\downarrow}{p_z}$	p^6
3	d	5	$\frac{1\downarrow}{d_{xy}} \quad \frac{1\downarrow}{d_{yz}} \quad \frac{1\downarrow}{d_{xz}} \quad \frac{1\downarrow}{d_{x^2-y^2}} \quad \frac{1\downarrow}{d_{z^2}}$	d^{10}
4	f	7	$\frac{1\downarrow}{f_1} \quad \frac{1\downarrow}{f_2} \quad \frac{1\downarrow}{f_3} \quad \frac{1\downarrow}{f_4} \quad \frac{1\downarrow}{f_5} \quad \frac{1\downarrow}{f_6} \quad \frac{1\downarrow}{f_7}$	f^{14}

1.3.5 Configuración electrónica

Es la manera cómo se ordenan los electrones del átomo de un elemento químico en forma creciente de energía, según su ubicación en la tabla periódica, llenándose primero los niveles y subniveles de menor energía. Para los tres primeros períodos de elementos de la tabla periódica, los electrones llenan todos los subniveles *s* y *p* disponibles en la secuencia siguiente; 1*s*, luego 2*s* 2*p*, luego 3*s* y 3*p*. El argón (número atómico 18 con 18 electrones) se halla al final del tercer período de elementos, y tiene precisamente el número exacto de electrones para llenar todos los subniveles por completo, hasta el subnivel 3*p* y así sucesivamente.

El orden de ocupación de los subniveles está relacionado con la Tabla periódica. Hay que comenzar por la parte superior de la Tabla periódica y seguir las flechas al moverse a lo ancho y hacia debajo de la Tabla, a través de períodos subsecuentes, desde el período 1 hasta el 7.



Una configuración electrónica permite mostrar de manera concisa el número de electrones que hay dentro de cada subnivel de un átomo, pero se puede utilizar un diagrama de orbitales para representar la distribución de los electrones dentro de los orbitales.

Estimado colega ahora te invito a leer la siguiente lectura:

Espín nuclear e imágenes por resonancia magnética

Un reto importante para el diagnóstico médico es poder ver dentro del cuerpo desde el exterior. hasta hace poco, esto se lograba principalmente empleando rayos X. Sin embargo, su empleo tiene varias desventajas. En primer lugar, no producen imágenes bien definidas de estructuras fisiológicas que se traslapan. Además, los tejidos enfermos con frecuencia producen la misma imagen que los tejidos sanos, en cuyo caso es imposible detectar una enfermedad o lesión. Por último, son radiación de alta energía que puede causar daños fisiológicos, incluso en dosis bajas. En la década de 1980 una nueva técnica llamada imágenes por resonancia magnética nuclear (MRI, por sus siglas en inglés) se colocó a la vanguardia de la tecnología para obtener imágenes médicas. El fundamento de MRI es un fenómeno llamado resonancia magnética nuclear (RMN), que se descubrió a mediados de la década de 1940. La RMN se basa en la observación de que, al igual que los electrones, los núcleos de muchos elementos poseen espín intrínseco. Al igual que el espín electrónico, el espín nuclear está cuantizado. Por ejemplo, el núcleo de ^1H (un protón) tiene dos números cuánticos de espín nuclear posibles, $+1/2$ y $-1/2$. El núcleo de hidrógeno es el que más comúnmente se estudia por RMN.

Un núcleo de hidrógeno en rotación actúa como un imán diminuto (Fig. A). En ausencia de efectos externos (izquierda), los dos estados de espín tiene la misma energía, pero cuando los núcleos se colocan en un campo magnético externo (derecho) se pueden alinear ya sea paralelos u opuestos (antiparalelos) al campo, dependiendo de su espín. La alineación paralela tiene menor energía que la antiparalela en cierta cantidad ΔE . Si los núcleos se irradian con fotones cuya energía es igual a ΔE , el espín de los núcleos puede "invertirse", es decir, excitarse de la alineación paralela a la antiparalela. La detección de la inversión de los núcleos entre los dos estados de espín produce un espectro RMN. La radiación empleada en un experimento de RMN está en el intervalo de las radiofrecuencias, por lo regular entre 100 y 500 MHz.

Puesto que el hidrógeno es un constituyente importante de los fluidos acuosos y los tejidos grasos del cuerpo, el núcleo de hidrógeno es el más conveniente para estudiarse por MRI. En MRI el cuerpo de la persona se coloca en un campo magnético intenso. Mediante la irradiación del cuerpo con pulsaciones de radiación de radiofrecuencia y el empleo de técnicas de detección avanzadas, se pueden obtener imágenes de los tejidos a profundidades específicas dentro del organismo, produciendo imágenes asombrosamente detalladas (Fig. B). La capacidad para muestrear a diferentes profundidades permite a los técnicos médicos construir una imagen tridimensional.

La MRI no tiene ninguna de las desventajas de los rayos X. Los tejidos enfermos tiene una apariencia muy diferente de la de los tejidos sanos, es mucho más fácil distinguir las estructuras que se traslapan a diferentes profundidades en el cuerpo, y la radiación de radiofrecuencia no es perjudicial para los seres humanos en las dosis empleadas. La desventaja principal de la MRI es el costo.

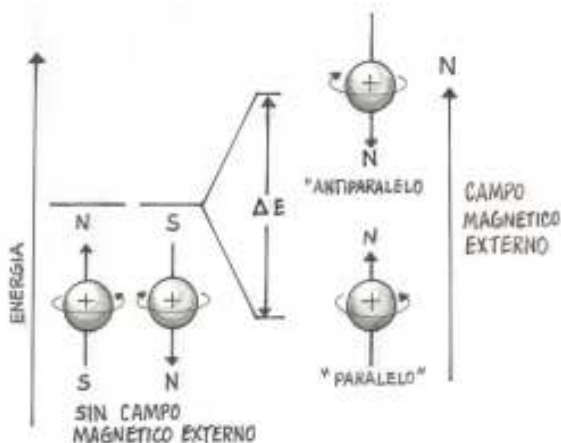


Figura A: al igual que el espín electrónico, el espín nuclear genera un pequeño campo magnético y tiene dos valores permitidos.



Figura B: imagen de MRI de una cabeza humana, en la que se aprecian las estructuras de un cerebro normal, las vías de aire y los tejidos faciales.

Fuente: Química Brown - Lernay - Beraten 1997. México, pág. 207.

Después de haber leído la lectura anterior, intenta responder a las siguientes preguntas:

¿Por qué son importantes las imágenes por resonancia magnética?

¿Piensas que existe relación entre el espín nuclear y las imágenes por resonancia magnética? ¿Por qué?

¿Qué repercusiones tiene para el organismo el uso de las imágenes por resonancia magnética?

¿Cuáles son las desventajas del uso de las imágenes por resonancia magnética?

1.4 DESCUBRIMIENTOS RECIENTES Y CONSECUENCIAS

1.4.1 Los límites de la mecánica cuántica

Desde 1925 no se han encontrado deficiencias fundamentales en la mecánica cuántica, aunque se ha debatido si la teoría debe o no considerarse completa. En la década de 1930, la aplicación de la mecánica cuántica y la relatividad especial a la teoría del electrón permitió al físico británico Paul Dirac formular una ecuación que implicaba la existencia del espín del electrón. También llevó a la predicción de la existencia del positrón, que fue comprobada experimentalmente por el físico estadounidense Carl David Anderson.

La aplicación de la mecánica cuántica al ámbito de la radiación electromagnética consiguió explicar numerosos fenómenos como la radiación de frenado (emitida por los electrones frenados por la materia) y la producción de pares (formación de un positrón y un electrón cuando la energía electromagnética interactúa con la materia). Sin embargo, también llevó a un grave problema, la denominada dificultad de divergencia: determinados parámetros, como las llamadas masa desnuda y carga desnuda de los electrones, parecen ser infinitos en las ecuaciones de Dirac (los términos 'masa desnuda' y 'carga desnuda' hacen referencia a electrones hipotéticos que no interactúan con ninguna materia ni radiación; en realidad, los electrones interactúan con su propio campo eléctrico).

Esta dificultad fue parcialmente resuelta en 1947-1949 en el marco de un programa denominado renormalización, desarrollado por el físico japonés Shin'ichiro Tomonaga, los físicos estadounidenses Julian S. Schwinger y Richard Feynman y el físico estadounidense de origen británico Freeman Dyson. En este programa se toman la masa y carga desnudas del electrón como infinitas de modo que otras cantidades físicas infinitas se cancelen en las ecuaciones. La renormalización aumentó mucho la precisión en los cálculos de la estructura de los átomos a partir de los principios fundamentales.

La mecánica cuántica está en la base de los intentos actuales de explicar la interacción nuclear fuerte y desarrollar una teoría unificada para todas las fuerzas fundamentales de la materia. No obstante, por ejemplo, existen grandes contradicciones teóricas entre la mecánica cuántica y la teoría del caos, que empezó a desarrollarse rápidamente en la década de 1980. Los físicos teóricos como el británico Stephen Hawking siguen haciendo esfuerzos para desarrollar un sistema que englobe tanto la relatividad como la mecánica cuántica.

1.4.2 Nuevas partículas elementales

El nombre de partículas elementales se aplica al electrón, el protón, el neutrón, el fotón y a todas las partículas descubiertas desde 1932. Sin embargo, el término es de hecho incorrecto, ya que se ha comprobado que la mayoría de estas partículas tienen una estructura interna complicada. En 1932, el físico estadounidense Carl David Anderson descubrió el *antielectrón* o *positrón*, que Dirac había predicho en 1928. Anderson comprobó que un rayo gamma de alta energía procedente de la radiación cósmica podía desaparecer en las proximidades de un núcleo pesado y crear un par electrón-positrón exclusivamente a partir de su energía. Cuando un positrón choca con un electrón se aniquilan entre sí y dan lugar a una lluvia de fotones.

En 1935, el físico japonés Yukawa Hideki desarrolló una teoría que explicaba cómo se mantiene unido un núcleo a pesar de la repulsión mutua entre sus protones. Postuló la existencia de una partícula de masa intermedia entre el electrón y el protón.

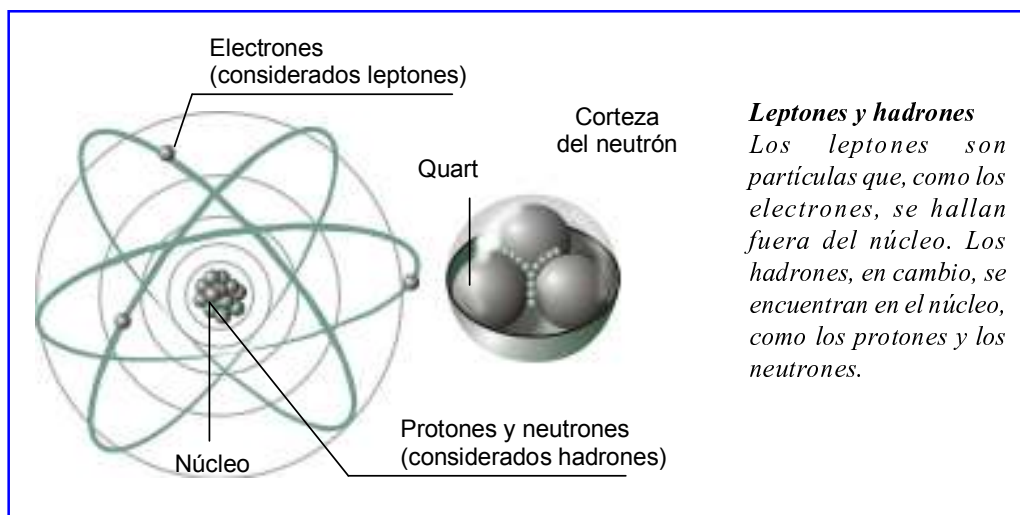
En 1936, Anderson y sus colaboradores descubrieron en la radiación cósmica secundaria una nueva partícula con una masa 207 veces superior a la del electrón. Al principio se creyó que esa partícula, que se denominó *muón*, era el 'pegamento' nuclear de Yukawa. Los experimentos posteriores del físico británico Cecil Frank Powell y otros llevaron al descubrimiento de una partícula algo más pesada, con una masa 270 veces mayor que la del electrón. Este mesón pi o pión (también hallado en la radiación cósmica secundaria) fue finalmente identificado como la pieza que faltaba en la teoría de Yukawa.

Desde entonces se han encontrado muchas partículas adicionales en la radiación cósmica secundaria y en los aceleradores de partículas de altas energías. Entre ellas figuran numerosas partículas de gran masa, denominadas *hadrones* (partículas afectadas por la interacción nuclear fuerte, que mantiene unidos los núcleos atómicos), que incluyen los hiperones y diversos mesones pesados cuya masa es de 1 a 3 veces la del protón, además de los llamados bosones vectoriales intermedios, como las partículas W y Z⁰, los portadores de la interacción nuclear débil. Estas partículas pueden ser eléctricamente neutras, positivas o negativas, pero nunca tienen más de una carga eléctrica elemental, e. Tienen un periodo de semidesintegración que va desde 10⁻⁸ hasta 10⁻¹⁴ segundos, y se desintegran dando lugar a numerosas partículas más ligeras. Cada partícula tiene su antipartícula correspondiente y posee un determinado momento angular. Todas cumplen una serie de leyes de conservación relativas a números cuánticos como el número bariónico, la llamada extrañeza o el espín isotópico.

A finales de la década de 1940, una serie de experimentos con rayos cósmicos reveló nuevos tipos de partículas cuya existencia no se había pronosticado. Se las denominó partículas extrañas, y sus propiedades se estudiaron intensivamente en la década de 1950. En la década de 1960, se encontraron muchas partículas nuevas en experimentos con grandes aceleradores.

1.4.3 Nuevas explicaciones

La teoría dominante acerca de la estructura interna de las partículas elementales se basa en los quarks, subpartículas (cromodinámica cuántica) de carga fraccionaria; por ejemplo, un protón está formado por tres quarks. Esta teoría fue propuesta por primera vez en 1964 por los físicos estadounidenses Murray Gell-Mann y George Zweig. Los nucleones están formados por tríos de quarks, mientras que los mesones están formados por parejas de quarks. No se conoce ningún proceso para producir quarks aislados, pero se cree que existieron de forma individual en las condiciones extremas que reinaron al comienzo del Universo. Al principio la teoría postulaba tres tipos de quarks, pero los experimentos posteriores exigieron la introducción de otros tres tipos adicionales.



Hasta ahora, las teorías más fructíferas de las interacciones entre las partículas elementales son las llamadas *teorías de gauge*. En estas teorías, la interacción entre dos clases de partículas se caracteriza por la simetría. Por ejemplo, la simetría entre neutrones y protones consiste en que si se intercambian las identidades de las partículas no cambia nada en lo relativo a la interacción fuerte.

La primera de las teorías de gauge se aplicó a las interacciones electromagnéticas entre partículas cargadas. Aquí, la simetría reside en el hecho de que los cambios en la combinación de potenciales eléctricos y magnéticos no tienen efecto sobre los resultados finales.

Una teoría de gauge muy potente, posteriormente verificada, fue propuesta de forma independiente por el físico estadounidense Steven Weinberg y el físico paquistaní Abdus Salam en 1967 y 1968. Su modelo vinculaba los bosones vectoriales intermedios con el fotón, con lo que unificaba las interacciones electromagnética y nuclear débil, aunque sólo en el caso de los leptones (partículas no afectadas por la interacción nuclear fuerte). Los trabajos posteriores de Sheldon Lee Glashow, J. Iliopolis y L. Maiani demostraron la forma en que el modelo puede aplicarse también a los hadrones (partículas afectadas por la interacción fuerte).

En principio, la *teoría de gauge* puede aplicarse a cualquier campo de fuerzas, lo que presenta la posibilidad de que todas las fuerzas o interacciones puedan unirse en una única teoría del campo unificado. Estos intentos implican siempre el concepto de simetría. Las simetrías generalizadas se extienden también a intercambios de partículas que varían de un punto a otro en el espacio y en el tiempo. El problema para los físicos es que estas simetrías no amplían el conocimiento científico de la naturaleza de la materia.

Por eso, muchos físicos están explorando las posibilidades de las llamadas *teorías de supersimetría*, que relacionarían directamente los fermiones y los bosones postulando nuevas parejas de partículas 'gemelas' además de las conocidas, que sólo se diferenciarían por el espín. Se han expresado algunas reservas en relación con estos intentos; en cambio, otro enfoque conocido como *teoría de supercuerdas* suscita mucho interés. En esta teoría, las partículas fundamentales no se consideran objetos sin dimensiones sino 'cuerdas' que se extienden en una dimensión con longitudes menores de 10^{-35} metros. Todas estas teorías resuelven muchos de los problemas con que se encuentran los físicos que trabajan en la teoría del campo unificado, pero de momento sólo son construcciones bastante especulativas.

PARTÍCULAS ELEMENTALES

	Símbolo	Nombre	Espín	Masa (*MeV/c ²)	Vida Media (s)
Bosones	γ	fotón	1	0	estable
	W^\pm	W	1	80.600	10^{-25}
	Z^0	Z	1	91.161	10^{-25}
	g	gluón	1	0	estable
	g	gravitón**	2	0	estable

**Hipotética

	Símbolo	Nombre	Espín	Masa (*MeV/c ²)	Vida Media (s)
Leptones	ν_e, ν_μ, ν_τ	neutrino	1/2	0 [↑]	estable
	e^-	electrón	1/2	0,5	estable
	H^-	muón	1/2	106	2×10^{-6}
	Z^-	tau	1/2	1.784	3×10^{-13}

	Símbolo	Nombre	Espín	Masa (*MeV/c ²)	Vida Media (s)
Mesones	π^\pm	pión	↑ 0 ↓	140	3×10^{-8}
	π^0			135	1×10^{-16}
	K^\pm			kaón	494
	K^0	498			$\left\{ \begin{array}{l} 1 \times 10^{-10} \\ 5 \times 10^{-8} \end{array} \right.$
	D^\pm	D		1.869	1×10^{-12}
	D^0			1.865	4×10^{-13}
	Ds^+	Ds		1.969	4×10^{-13}
	B^\pm	B		5.278	1×10^{-12}
	B^0			5.279	1×10^{-12}

	Símbolo	Nombre	Espín	Masa (*MeV/c ²)	Vida Media (s)	
Bariones	ρ	protón	↑ 1/2 ↓	938	estable ($>10^{33}$ años)	
	n	neutrón		940	9×10^2	
	λ	lambda		1.116	3×10^{-10}	
	Σ^+	sigma		1/2	1.189	8×10^{-11}
	Σ^0				1.193	7×10^{-20}
	Σ^-				1.197	1×10^{-10}
	Ξ^0				xi	1.315
	Ξ^-	1.321		2×10^{-10}		
	Ω^-	omega		3/2	1.672	1×10^{-10}
	λc^+	lambda encantada		1/2	2.285	2×10^{-13}

*Millones de electronvoltios; c = velocidad de la luz

↑ Incierto

Fuente: Enciclopedia Microsoft (Encarta) 1993-1997.

AUTOEVALUACIÓN N° 1

Estimado colega ahora te sugiero responder a las siguientes preguntas:

I. Escriba la letra que corresponda en el paréntesis en cada una de las siguientes afirmaciones:

- | | | |
|---------------------------------|-----|---------------------|
| 1. Descubrió el electrón | () | a. Dalton |
| 2. Descubrió el núcleo atómico | () | b. Bohr |
| 3. Números cuánticos | () | c. Thompson |
| 4. Niveles de energía | () | d. Rutherford |
| 5. Discontinuidad de la materia | () | e. n, l, m_l, m_s |

II. Marque la letra V o F, según corresponda:

1. La ley de las proporciones múltiples fue establecida por Dalton. ()
2. Demócrito y Leucipo plantearon la discontinuidad de la materia. ()
3. La configuración electrónica de un átomo se establece gracias al orden creciente de acuerdo a la tabla periódica. ()
4. Dirac formuló una ecuación que implicaba la existencia del espín del electrón. ()
5. Existen otras partículas diferentes a los protones, neutrones y electrones. ()

III. El átomo de un elemento X tiene 17 protones, en base a esta información determine:

- a. La distribución electrónica completa y el diagrama de orbitales
- b. El número de electrones en cada capa y el número de subniveles
- c. La distribución electrónica en orbitales
- d. El período al cual pertenece en la tabla periódica
- e. El grupo al cual pertenece en la tabla periódica
- f. ¿Qué clase de elemento es? Metal, no metal, gas noble, elemento de transición o transición interna.

II. ENERGÍA NUCLEAR

¿Cuál crees que son las ventajas y desventajas que nos ofrece el uso de la energía nuclear?

La Energía Nuclear, es la energía liberada durante la fisión o fusión de núcleos atómicos. Las cantidades de energía que pueden obtenerse mediante procesos nucleares superan con mucho a las que pueden lograrse mediante procesos químicos, que sólo implican las regiones externas del átomo.

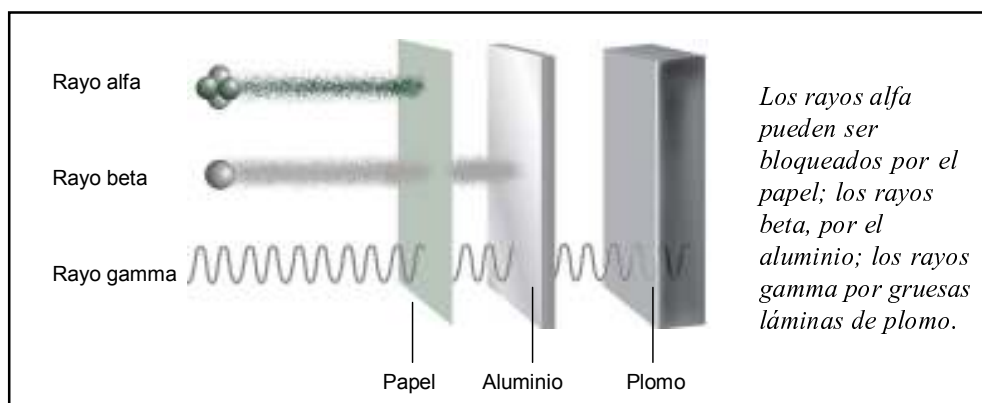
La energía nuclear se puede usar para destruir ciudades y quizá hasta civilizaciones, la energía nuclear controlada es capaz de proveer la energía necesaria para el funcionamiento de nuestras ciudades y la conservación de nuestra salud. Incluso aquí se presenta otra paradoja el empleo controlado y pacífico de la energía nuclear no deja de presentar sus propios peligros potenciales.

2.1 RADIATIVIDAD NATURAL

La **Radiactividad**, es la desintegración espontánea de núcleos atómicos mediante la emisión de partículas subatómicas llamadas partículas alfa y partículas beta, y de radiaciones electromagnéticas denominadas rayos X y rayos gamma.

El fenómeno fue descubierto en 1896 por el físico francés Antoine Henri Becquerel al observar que las sales de uranio podían ennegrecer una placa fotográfica aunque estuvieran separadas de la misma por una lámina de vidrio o un papel negro. También comprobó que los rayos que producían el oscurecimiento podían descargar un electroscopio, lo que indicaba que poseían carga eléctrica.

En 1898, los químicos franceses Marie y Pierre Curie dedujeron que la radiactividad es un fenómeno asociado a los átomos e independiente de su estado físico o químico.



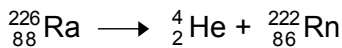
Ciertos núcleos son inestables en su estado natural. Esto se debe a diferencias en las atracciones y repulsiones en el interior del núcleo. De los isótopos naturales que emiten de manera espontánea partículas alfa, beta o rayos gamma de alta energía, se dicen que poseen una radiactividad natural. De los aproximadamente 350 isótopos presentes en la naturaleza, alrededor de 80 de ellos son radiactivos.

Existen diferentes formas de radiación, entre las que tenemos:

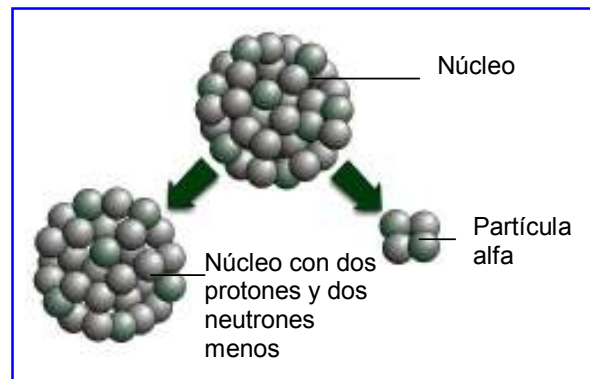
2.2 PARTÍCULAS ALFA

Una partícula alfa está formada por dos protones y dos neutrones que actúan como una única partícula. Son núcleos de átomos de helio. Cuando un núcleo radiactivo inestable emite una partícula alfa, éste se convierte en un núcleo de un elemento distinto.

Los átomos de radio con número de masa 226 se descomponen de manera espontánea, desprendiendo partículas alfa. El proceso se conoce como desintegración alfa. Las partículas alfa son idénticas a los núcleos de helio y se simbolizan (de preferencia) como ${}^4_2\text{He}$ o con la letra griega alfa, α . La ecuación correspondiente a la desintegración alfa del radio se escribe:



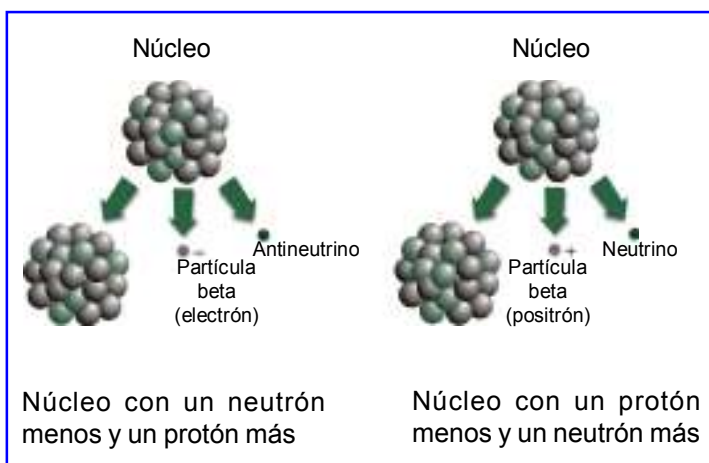
Como se puede apreciar, cada átomo de radio con un número de masa de 226 (el superíndice) expulsa una partícula alfa y se transforma en un nuevo tipo de átomo con dos protones menos. El nuevo átomo, con número atómico 86 (el subíndice), es el radón, Rn.



Durante cualquier emisión de partículas alfa tiene lugar una **transmutación**; es decir, un elemento se transforma en otro. A diferencia de las reacciones químicas, todas las reacciones nucleares producen isótopos distintos.

2.3 PARTÍCULAS BETA

Una partícula beta es un electrón en rápido movimiento y se representa (de preferencia) como ${}^0_{-1}\text{e}$ o con la letra griega beta, β . Esta partícula se produce como resultado de un proceso de desintegración "desintegración beta".



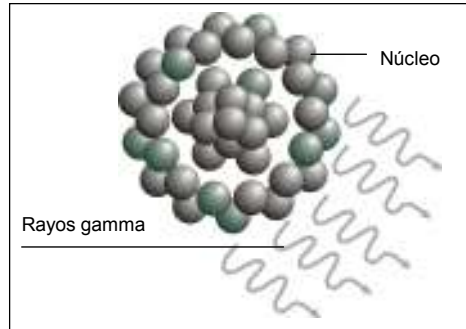
Desintegración beta

Hay dos tipos de desintegración beta. En la que se muestra a la izquierda, un neutrón se convierte en un protón emitiendo un antineutrino y una partícula beta cargada negativamente. En la de la derecha, un protón se convierte en un neutrón emitiendo un neutrino y una partícula beta positivamente cargada. Las partículas beta positivas se llaman positrones, y las negativas electrones. Después de la desintegración, el núcleo del átomo contiene un protón más o menos, por lo que constituye un elemento nuevo, con número atómico distinto.

2.4 RAYOS GAMMA

Rayos gamma

Otro tipo de radiactividad se llama desintegración gamma, y tienen lugar cuando ciertos isótopos inestables emiten radiación de alta energía. Los rayos gamma se simbolizan por la letra griega γ , carecen de masa y de carga. Este tipo de emisión acompaña con frecuencia a la radiación alfa o beta. La emisión de una partícula alfa o beta puede dejar al



núcleo en un estado de alta energía, y cuando esto ocurre, las transiciones entre los niveles de energía dentro del núcleo dan como resultado la emisión subsecuente de rayos gamma, cuando el núcleo regresa a un estado más estable.

Tanto los rayos gamma como los rayos X son tipos de radiación de alta energía, pero los rayos X tienen menos energía que los rayos gamma.

Vida media

El período de vida media de una sustancia radiactiva es el tiempo necesario para que la mitad de una determinada masa de la sustancia se desintegre.

¿Cuál es el significado de Datación por el Carbono?

Todos los *seres vivos* contienen cierta cantidad de Carbono 14 (carbono radiactivo). Las plantas lo absorben en forma de CO_2 radiactivo y se desprende en la respiración.

Cuando un ser vivo muere, el intercambio cesa y el Carbono-14 presente en el organismo comienza a desintegrarse.

La vida media de este carbono es de 5600 años. Después de este período, pues, un cuerpo muerto había liberado exactamente la mitad de la radiación que contenía cuando estaba vivo.

La desintegración prosigue a un ritmo constante, lo cual permite calcular cuánto tiempo hace que un determinado cuerpo está muerto. La técnica del Carbono-14 se ha usado para datar por ejemplo las momias del antiguo Egipto.

2.5 MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN

Hay muchas maneras de medir la radiación. La tasa de incidencia de las desintegraciones nucleares en una muestra en particular (la actividad nuclear) se mide en desintegraciones por segundo.

- ♦ La unidad de actividad es el **curie, Ci**, bautizado en honor de Marie Curie, la descubridora del Radio. Un curie es igual al número de desintegraciones por segundo que produce 1 g de Radio.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ des/s}$$

Una fuente que se emplea en el tratamiento del cáncer por aplicación externa de radiación de cobalto podría recibir una calificación de 3000 Ci. Para muestras menos activas se utilizan prefijos métricos.

$$1 \text{ milicurie (mCi)} = 0,001 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^7 \text{ des/s}$$

$$1 \text{ microcurie (\mu Ci)} = 0,000001 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^4 \text{ des/s}$$

- ♦ La unidad de exposición a los rayos gamma o a los rayos x es el **roentgen**, R. El roentgen es una medida de la energía del haz de rayos, que indica en qué grado una fuente específica de rayos x o rayos gamma perturbaría (ionizaría) una muestra de aire. Esta unidad no tiene en realidad una relación directa con los seres humanos, pues la ionización en los tejidos no es igual que en el aire.
- ♦ La unidad en el SI para la radiación ionizante es el Gray, en honor a un científico Británico Harold Gray. En Estados Unidos se emplea una unidad más pequeña, el rad.

$$1 \text{ Gray (gy)} = 100 \text{ rads}$$

Rad es el acrónimo de la expresión en inglés radiation absorbed dose (dosis de radiación absorbida). Una exposición de 1 rad significa que cada gramo de tejido absorbente ha absorbido 100 ergios de energía de radiación.

En términos de la cantidad de energía calorífica absorbida, el rad es una unidad extremadamente pequeña (1 000 000 rads = 2,39 cal). Una bebida de cola "dietética" proporciona tal vez mil veces más energía al organismo. Pero no es el calor lo que representa un peligro. Es la formación de iones y otros fragmentos, moleculares de alta reactividad (de ahí la expresión radiación ionizante) dentro de una célula lo que hace a la radiación peligrosa para los seres humanos y otros seres vivos. De hecho se calcula que alrededor de 500 rads mataría casi a cualquier persona. Una dosis única de 1000 rads mataría prácticamente cualquier mamífero. Como comparación, la dosis media anual que absorbe un individuo debido a radiografías médicas y dentales es de aproximadamente 1 rad.

- ♦ Otra unidad es el **rem**, que es una medida del daño biológico producido por una dosis de radiación en particular. El rem es una unidad que no sólo toma en cuenta la cantidad de radiación absorbida, sino además la clase de radiación.

Sabías que...

Todas las personas en todo momento están expuestas a radiaciones que proviene de fuentes naturales y nadie se puede escapar de ella y alrededor del 82 % de la radiación ambiental proviene de cuatro fuentes naturales que son el radón gaseoso, los rayos cósmicos, la radiación del interior de los organismos y la que viene de las rocas y el sol.

2.6 TRANSMUTACIÓN ARTIFICIAL

Radiactividad artificial

Es aquella desintegración que se produce a nivel del núcleo atómico de manera artificial. Esto se logra bombardeando núcleos estables con partículas alfa y beta y otros iones positivos, suministrando una cantidad suficiente de energía para producir la reacción, dando como consecuencia la transformación de un átomo en otro. A este proceso también se le llama transmutación artificial.

En la actualidad se conocen más de 400 elementos radiactivos artificiales, esta se a visto favorecida por el desarrollo de aceleradores de partículas que comunican velocidades enormes a las partículas empleadas en el bombardeo, con lo que en muchos casos aumenta la probabilidad de que sean capturadas por los núcleos utilizados como objetivo.

El estudio de las reacciones nucleares y la búsqueda de nuevos isótopos radiactivos artificiales, sobre todo entre los elementos más pesados, llevó al descubrimiento de la

fisión nuclear y al posterior desarrollo de la bomba atómica. También se descubrieron varios elementos nuevos que no existen en la naturaleza. El desarrollo de reactores nucleares hizo posible la producción a gran escala de isótopos radiactivos de casi todos los elementos de la tabla periódica, y la disponibilidad de estos isótopos supone una ayuda incalculable para la investigación química y biomédica. Entre los isótopos radiactivos producidos artificialmente tiene gran importancia el carbono 14, con un periodo de semidesintegración de 5.600 ± 40 años. La disponibilidad de esta sustancia ha permitido investigar con mayor profundidad numerosos aspectos de procesos vitales, como la fotosíntesis.

Usos prácticos de algunos radioisótopos

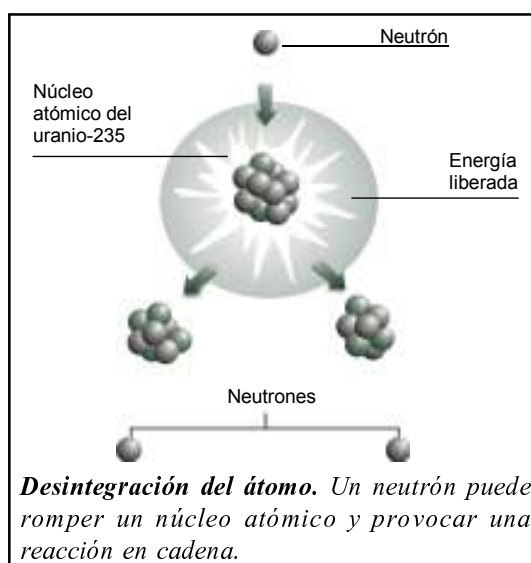
Los radioisótopos actualmente se utilizan en diversos campos:

Isótopo	Nombre	Radiación	Vida media	Usos
^{51}Cr	Cromo 51	γ	27,8d	Determinación del volumen de glóbulos rojos y volumen total de sangre.
^{57}Co	Cobalto 57	γ	270 d	Determinación de incorporación de la vitamina B ₁₂ .
^{60}Co	Cobalto 60	β, γ	5,3 a	Tratamiento de cáncer por radiación.
^{153}Gd	Gadolinio 153	γ	242 d	Determinación de la densidad ósea.
^{131}I	Yodo 131	β, γ	8,0 d	Detección de disfunción de tiroides; tratamiento de cáncer de tiroides; medición de actividad del hígado.
^{59}Fe	Hierro 59	β, γ	45 d	Medición de la tasa de formación y tiempo de vida de glóbulos rojos de la sangre.
^{32}P	Fósforo 32	β	14,3 d	Detección de cáncer en la piel.
^{226}Ra	Radio 226	α, γ	1590 a	Terapia por radiación para el cáncer.
^{24}Na	Sodio 24	β, γ	15,0 h	Detección de constricciones y obstrucciones en el sistema circulatorio
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Tecnecio 99 ^m	γ	6,0 h	Formación de imágenes de cerebro, tiroides, hígado, riñón, pulmón y sistema cardiovascular.
^3H	Tritio	β	12,0 a	Determinación de agua corporal total.

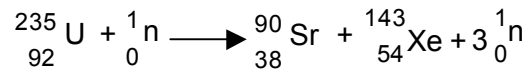
2.7 FISIÓN NUCLEAR

Es la ruptura de un núcleo pesado (número de masa >200) para dar dos o más núcleos livianos. Este proceso libera una gran cantidad de energía.

En primer lugar, la energía liberada por la fisión es muy grande. La fisión de 1 kg de Uranio 235 libera 18,7 millones de kilovatios hora en forma de calor. En segundo lugar, el proceso de fisión iniciado por la absorción de un neutrón en el Uranio 235 libera un promedio de 2,5 neutrones en los núcleos fisionados. Estos neutrones provocan rápidamente la fisión de varios núcleos más, con lo que liberan otros cuatro o más neutrones



adicionales e inician una serie de fisiones nucleares auto mantenidas, una reacción en cadena que lleva a la liberación continuada de energía nuclear. Una reacción representativa es:



El Uranio presente en la naturaleza sólo contiene un 0,71% de Uranio 235; el resto corresponde al isótopo no fisionable uranio 238. Una masa de Uranio natural, por muy grande que sea, no puede mantener una reacción en cadena, porque sólo el Uranio 235 es fácil de fisionar. Es muy improbable que un neutrón producido por fisión, con una energía inicial elevada de aproximadamente 1 MeV, inicie otra fisión, pero esta probabilidad puede aumentarse cientos de veces si se frena el neutrón a través de una serie de colisiones elásticas con núcleos ligeros como Hidrógeno, Deuterio o Carbono. En ello se basa el diseño de los reactores de fisión empleados para producir energía.



¿Cómo funciona un reactor nuclear y para qué sirve?

Un reactor nuclear produce calor a partir de la fisión nuclear, en la que los núcleos atómicos se dividen liberando grandes cantidades de energía. En la parte central del reactor se produce una reacción nuclear autosostenida, una serie de barras de control se suben o bajan para absorber neutrones y controlar así la reacción y el calor producido. Existen varios tipos de reactores nucleares: los reactores de agua pesada, los reactores de cría y el reactor nuclear más empleado en todo el mundo es el reactor de agua a presión. Se conoce como sistema de circuito doble, porque emplea 2 circuitos de agua, el circuito primario bombea el agua calentada en el reactor a través del serpentín de un intercambiador de calor, donde cede calor al circuito secundario, el agua del circuito primario sigue líquida incluso a 300°C porque está a una presión de 150 atmósferas. En el circuito secundario el agua se vaporiza en el intercambiador de calor y el vapor a presión se emplea para impulsar unos generadores de turbina, el vapor se enfría con tomada de un gran depósito un río o el mar; el vapor vuelve a condensarse y se bombea de nuevo al intercambiador de calor con lo que se cierra el ciclo. La electricidad producida por los generadores pasa primero a un transformador para elevar la tensión y de ahí a una red de distribución. En la actualidad, los reactores nucleares producen aproximadamente 20% de la energía eléctrica en los Estados Unidos y en Europa el 40% de la energía eléctrica que se consume.

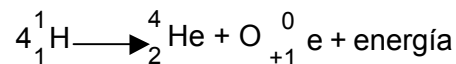
Reactores nucleares



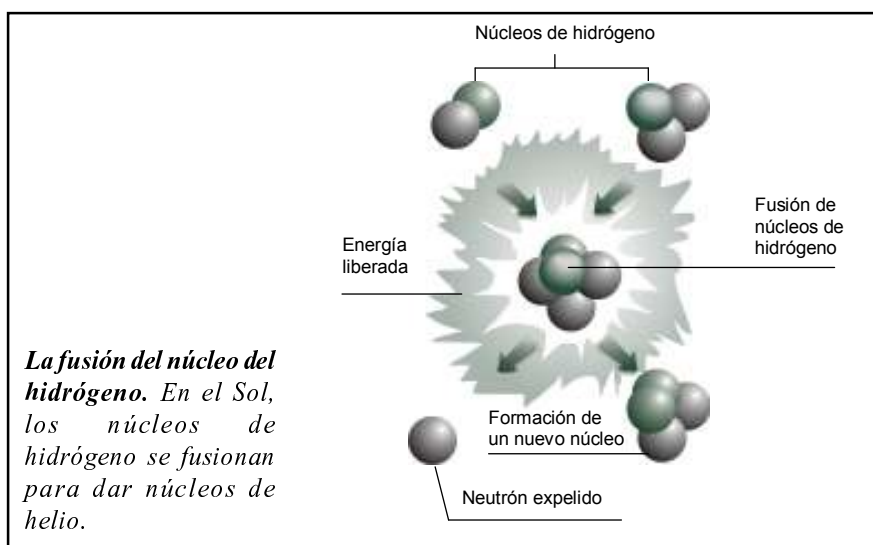
2.8 FUSIÓN NUCLEAR

La fusión nuclear consiste en la unión de dos o más átomos livianos para dar origen a elementos más pesados con gran desprendimiento de energía.

La fusión nuclear no es un fenómeno nuevo. Casi toda la energía disponible en la tierra se deriva de manera directa o indirecta de las reacciones de fusión termonuclear que tienen lugar en el sol. A la temperatura tan elevada que hay en el centro del sol, los núcleos se fusionan y liberan cantidades tremendas de energía. Se piensa que la reacción neta principal es la fusión de cuatro núcleos de hidrógeno para producir un núcleo de helio.



Para hacerte una idea de cuánta energía se libera, reflexiona esta comparación: al fusionarse, 1 gramo de hidrógeno libera una cantidad de energía equivalente a la que se produce al quemar 17 000 kg de hulla.



2.9 APLICACIONES DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Existe una gran preocupación en torno a la aceptabilidad o no de la energía nuclear y esto se debe al elevado nivel de radiactividad (los materiales radiactivos emiten radiación ionizante penetrante que pueden dañar los tejidos vivos) que existe en las diferentes fase del ciclo nuclear, incluida la eliminación de residuos y los materiales como el Uranio 235 y el plutonio 239 con que se fabrican las armas nucleares. Sin embargo pese a esta gran controversia las aplicaciones de la energía nuclear con fines pacíficos son múltiples; para la producción de energía eléctrica; como radioisótopos en diferentes campos:

- ♦ Como marcadores en sistemas físicos, químicos y biológicos, en este caso, los isótopos se detectan con facilidad para estudiar sistemas complicados. Para seguir las rutas metabólicas de vegetales, animales y seres humanos.
- ♦ Para irradiar los alimentos, destruyendo la producción de microorganismos que provocan su descomposición.
- ♦ Como radiotrazadores en procesos industriales. Se utiliza para medición de parámetros de flujo de proceso, investigación de procesos industriales, operaciones de mezcla detección de niveles e interfases y la inspección de columnas de destilación.
- ♦ En medicina: como terapia y diagnóstico.

Nuestro país cuenta con un Centro Nuclear "Oscar Miro Quesada de la Guerra Racso" y está a cargo del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) que se encuentra ubicado en el distrito de Carabayllo a 42 km al norte de la ciudad de Lima.

Este cuenta con las siguientes instalaciones:

a. Reactor Nuclear (RP-10) de investigación

Opera para producir radioisótopos, realizar experiencias en física de reactores y para brindar servicios de irradiación dentro del núcleo para análisis por activación neutrónica y fuera del núcleo mediante los conductos de irradiación y columna térmica.

b. Planta de producción de Radioisótopos (PPR)

Esta constituida por un conjunto de laboratorios con los más modernos equipos e instrumentos nucleares y convencionales para la producción de radioisótopos. Radio fármacos y moléculas marcadas.

Se produce Tecnecio - 99 m (Tc-99m), Yodo-131 (I-131), Samario - 153 (Sm-153) y Kits para Tc-99m, con la finalidad de abastecer al mercado nacional.

Por ejemplo:

Radiofármacos

* Iodo-131 Ioduro de Sodio libre de portador

- Centellografía de tiroides
- Imagen de función tiroidea
- Terapia de cáncer tiroides
- Adenoma tóxico
- Hipertiroides y enfermedad de Basedow

* Samario - 153 EDTMP

Tratamiento del dolor producido por metástasis ósea en el cáncer de huesos.

Radioisótopos

* Iodo - 131 Ioduro de Sodio libre de portador.

Gammagrafía de tiroides

Imagen de la función tiroidea

Terapias de cáncer tiroides, adenoma tóxico, hipertiroides y enfermedad de Basedow

Kits para Tecnecio 99 m

* MAA - Magro Agregado de Albúmina

Indicaciones y uso:

Tromboembolia pulmonar: diagnóstico, estudio evolutivo y control de tratamiento; hipertensión arterial pulmonar; obstrucción bronquial total o parcial, presunción de cáncer broncopulmonar; espacio muerto pulmonar patológico y alteración anatómica del parenquima pulmonar.

c. Planta de gestión de residuos radiactivos

Esta planta brinda servicios de gestión de residuos radiactivos a diferentes sectores del país, como salud, industria, agricultura, energía y minas, etc. Las actividades industriales que utilizan mayormente fuentes radioactivas son la minera y la petrolera.

d. Laboratorios de seguridad radiológica

El objetivo de los laboratorios de seguridad radiológica es proveer los servicios de radioprotección y evaluar los riesgos presentes en las actividades relacionadas al uso pacífico de la energía nuclear en el Perú, con el fin de cumplir con todas las normas y regulaciones en el campo de la seguridad radiológica y de este modo proteger a los trabajadores, pacientes, público y al ambiente de la exposición a radiaciones ionizantes.

e. Laboratorios de investigación aplicada

Tiene por objeto desarrollar técnicas nucleares y brindar los servicios técnicos nucleares y brindar los servicios tecnológicos requeridos en áreas tales como: industria, agricultura, hidrología, arqueología, minería y ambiente.

Por otro lado existe también:

Un centro de Medicina Nuclear, dentro del perímetro del Instituto de Enfermedades Neoplásicas que se inauguró en 1983 en el cual existe un convenio de cooperación con el IPEN cuyas actividades son de tipo asistencial y de investigación.

Los servicios asistenciales son:

- Diagnóstico por imágenes (gammagrafía) en la evaluación de afecciones y funciones de diversos órganos y estructuras (tiroides, pulmones, sistema digestivo, riñones y vías urinarias, sistema cardiovascular, huesos y articulaciones, etc).
- Tratamiento primario o complementario de afecciones de la glándula tiroides.
- Tratamiento paliativo del dolor óseo por cáncer con fármacos de reciente producción (Samarium - 153) y otros.

Una Planta de Irradiación Multiusos (PIMU)

La planta fue construida por el IPEN en una zona aledaña al mercado mayorista de Santa Anita. El equipamiento se obtuvo mediante la ejecución de un proyecto de cooperación técnica auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

La FAO ha estimado que un 25% de toda la producción mundial de alimentos se pierde por acción de plagas y agentes patógenos.

La tecnología de irradiación de alimentos que se sustenta en los efectos bioquímicos de los rayos gamma emitidos por una fuente de Cobalto - 60, soluciona estos problemas eliminando los microorganismos contaminantes y manteniendo los alimentos frescos en su estado crudo por más tiempo.

Desde 1996, el IPEN opera esta planta en Asociación con la empresa privada INMUNE, brindando actualmente servicios de irradiación a escala semiindustrial en beneficio de la salud, alimentación y la industria.

Los servicios que se brindan son:

- Inhibición de brotes: se inhibe el brote sin pérdida de peso ni alteración en su poder nutritivo.
- Desinfección: se destruye todo tipo de salmonillas y otras bacterias patógenas.
- Desinfestación: se controla la presencia de insectos y parásitos que infestan los alimentos.
- Pasteurización: se mantiene la condición de frescura por períodos bastante largos.
- Esterilización: se esterilizan productos médicos y cosméticos.

Preguntas para la reflexión:

¿Cuáles serían los efectos biológicos de una lluvia radiactiva?

Trata de elaborar un proyecto de aprendizaje sobre la energía nuclear y su aplicación en la medicina

AUTOEVALUACIÓN N° 2

Estimado colega ahora te sugiero responder a las siguientes preguntas:

I. Escriba la letra que corresponda en el paréntesis en cada una de las siguientes afirmaciones:

- | | | |
|---------------------------------|-----|--------------------------------------|
| 1. Descubrió el Ra y Po | () | a. Fotón |
| 2. Descubrió los rayos x | () | b. 3×10^8 m/s |
| 3. Un cuanto | () | c. Fósforo 32 |
| 4. Tecnecio 99 | () | d. ^{14}C y ^{12}C |
| 5. Detecta el cáncer en la piel | () | e. ^1_1H |
| 6. Velocidad de la luz | () | f. Radioisótopo |
| 7. Acelerador de partículas | () | g. ^4_2He |
| 8. Rayos alfa | () | h. Marie Curie |
| 9. Isótopos | () | i. Ciclotrón |
| 10. Protón | () | j. Becquerel |

II. Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿En qué se parecen los rayos gamma y los rayos X? ¿En qué se distinguen?
2. En nuestro país qué aplicaciones tiene el reactor nuclear?
3. ¿Qué partículas subatómicas son responsables de llevar adelante la cadena de reacciones que son características de la fisión nuclear?
4. ¿Cuál debería ser la actitud frente al uso de la energía nuclear?

GLOSARIO

Aceleradores de partículas, dispositivos empleados para acelerar partículas elementales e iones hasta altas energías. Son los instrumentos de mayor tamaño y más costosos utilizados en física.

Cromodinámica cuántica, es una teoría física que trata de explicar el comportamiento de las partículas elementales llamadas quarks y gluones, que forman las partículas conocidas como hadrones. Matemáticamente, la cromodinámica cuántica es bastante similar a la electrodinámica cuántica, la teoría de las interacciones electromagnéticas, y trata de proporcionar una explicación equivalente para la fuerza nuclear fuerte, que une las partículas para formar núcleos atómicos. El prefijo "cromo" se refiere al "color", una propiedad matemática que se asigna a los quarks.

Electrodo, componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado convencional del circuito a un medio conductor como un electrólito o un gas.

Mecánica cuántica, Teoría de la estructura atómica que se basa en las propiedades ondulatorias de la materia y en la probabilidad de encontrar electrones en niveles y subniveles de energía específico.

Quark, una de las seis partículas que, según se cree, son los constituyentes básicos de las partículas elementales llamadas hadrones, como el protón, el neutrón o el pión.

Radioisótopo o Radiotrazadores, término que se aplica comúnmente a cualquier isótopo radiactivo utilizado para seguir el curso de sustancias no radiactivas.

Teoría del caos, teoría matemática que se ocupa de los sistemas que presentan un comportamiento impredecible y aparentemente aleatorio aunque sus componentes estén regidos por leyes estrictamente deterministas. Desde sus comienzos en la década de 1970, la teoría del caos se ha convertido en uno de los campos de investigación matemática con mayor crecimiento. Hasta ahora, la física, incluso si se consideran las ramificaciones avanzadas de la teoría cuántica, se ha ocupado principalmente de sistemas en principio predecibles, al menos a gran escala; sin embargo, el mundo natural muestra tendencia al comportamiento caótico. Por ejemplo, los sistemas meteorológicos de gran tamaño tienden a desarrollar fenómenos aleatorios al interactuar con sistemas locales más complejos. Otros ejemplos son la turbulencia en una columna de humo que asciende o el latido del corazón humano.

BIBLIOGRAFIA

ALLIER ROSALIA/ CASTILLO ARIEL/ FRISE LILIA/ MORENO ENMA. *La magia de la Química*. 1994. Ediciones pedagógicas S.A. México.

EISHERG, Robert. *Física Cuántica*. 1997. México.

INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR. *Información General*.

INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR. *Memorias* 1998.

MORRIS GORAN Ph.D. *Química experimental para todos*. 1967. Ed. Ramón sopena S.A. Barcelona.

RALPH A. BURNS. *Fundamentos de química*. 1996. Ed. Hispanoamérica S.A. México.

RAYMOND CHANG. *Química*. 1999. Mcgraw – Hill Interamericana Editores. S.A. México.

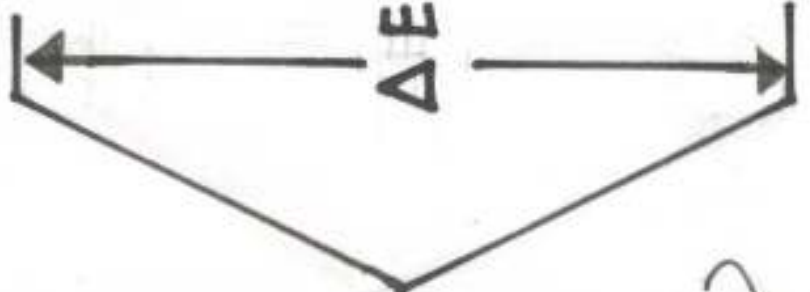
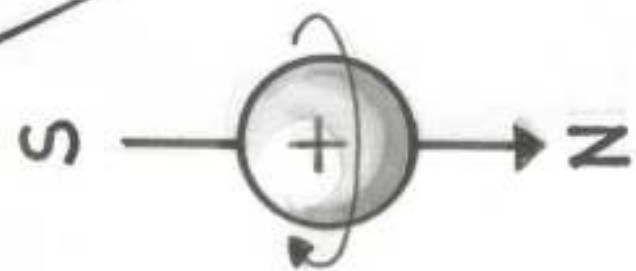
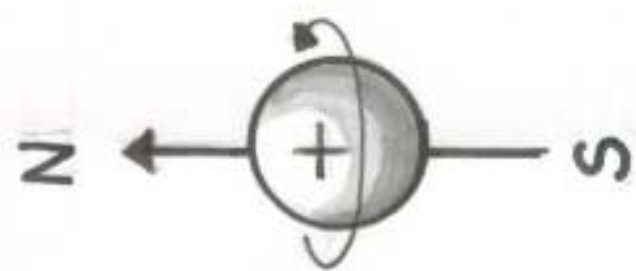
RAMÓN PASCUAL. *Del átomo al Quark*. 1999. Ediciones Vines Vives S.A. España.

RESNICK, Robert. *Conceptos de Relatividad y Teoría Cuántica*. 1992. México.

TEODORE L. BROW/ H. EUGENE LE MAY/ JR. BRUCE E. BURSTEN. *Química - La Ciencia Central*. 1993. Ed. Hispanoamericana S.A. México.

WILLIAM S. SECSE/ G. WILLIAM DAUB. *Química*. 1989. Editorial Hispanoamérica S.A. México.

ENERGIA

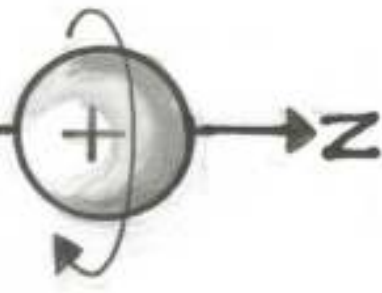


SIN CAMPO
MAGNETICO EXTERNO

CAMPO
MAGNETICO
EXTERNO

N

"ANTIPARALELO"



"PARALELO"

