



CAPÍTULO 5: ELECTRONES, ÁTOMOS, METALES Y ALEACIONES

5.1. INTRODUCCIÓN

Una de las fascinaciones de la Metalurgia es su rango o campo de acción. De los 106 elementos químicos conocidos, 65 son metales. La combinación de uno con los otros forma **Aleaciones**.

$$\text{Nº de Aleaciones binarias} = \frac{65 \cdot 64}{2} = 2080$$

pero en la práctica el número de aleaciones toma cifras astronómicas, ya que las aleaciones usualmente son de más de dos elementos. 3, 4, 5 o más y cada uno con diferentes concentraciones o porcentajes. Los metales son ensayados o usados a cargas equivalentes a 100.000 veces la presión atmosférica o vacíos de 10^{-13} atm. de presión. Temperaturas solo una fracción del cero absoluto, -273°C , hasta tan altas como 3500°C .

5.2. EL ESTADO METÁLICO

¿Qué es un Metal?

Podemos definirlo en base a una serie de sus características físicas tales como su habilidad superior de conducir el calor y la electricidad, de reflejar la luz, de ser opacos a la luz y de deformar plásticamente sin quebrarse acompañado de una buena resistencia mecánica. Pero muchos elementos que se llaman metales corrientemente no tienen las propiedades arriba mencionadas. Tales como la plata que es transparente a la luz ultravioleta, el manganeso es mal conductor, indio no resiste ni su propio peso, el bismuto es frágil como el vidrio, por otro lado el silicio puede ser pulido hasta adquirir un lustre "metálico", aunque no es considerado un metal. Para mayor confusión un elemento tal como el estaño, es metálico por encima de los 18°C y deja de serlo por debajo.

No hay una sola propiedad que sea común a todos los metales y que no sea compartida por una sustancia no-metálica. La explicación de esta confusión es la palabra "metal". Y para entender el estado metálico, debemos investigar más allá de las propiedades macroscópicas más obvias de los metales.

Debemos preguntarnos cómo se forman los sólidos metálicos a partir de los átomos, explorar la **estructura** microscópica y atómica y cómo se comportan con el cambio de temperatura y la aplicación de esfuerzos.

Al explorar los conceptos básicos de la metalurgia, es importante acordarse que los científicos en la busca de nuevos conocimientos a menudo encuentran respuestas a preguntas que no se plantearon específicamente. Consideren el descubrimiento de los rayos X, en 1895. Fueron descubiertos accidentalmente, pero luego fueron usados por los

médicos para las quebraduras de huesos. Si los científicos hubieran explícitamente buscado un método así, quizás todavía estarían buscándolo. A veces, en la búsqueda de nuevos conocimientos los resultados secundarios son más importantes que los originalmente buscados. Así en metalurgia, muchos procesos eran conocidos desde mucho tiempo entre los artesanos. Pero un conocimiento científico de ellos aún no se tenía, y sólo ha sido intentado seriamente en las últimas décadas. Empecemos entonces por la unidad fundamental a partir de la cual se construyen los elementos, que es el átomo.

5.3. ÁTOMO

Está constituido por un núcleo y un sistema de electrones planetarios que circulan a gran velocidad. El núcleo consta de varias partículas, entre las que destacaremos los protones de carga positiva y los neutrones de carga neutra (se puede interpretar como la conjunción íntima de un electrón de carga negativa neutralizada por un protón de igual carga pero positiva).

El número atómico Z representa la carga total positiva del núcleo, $+Ze$. Los electrones son de carga negativa $-e$. Cada átomo aislado es eléctricamente neutro, tiene el mismo número de electrones planetarios que protones en el núcleo. El elemento más liviano es el hidrógeno con 1 protón y un electrón. La masa del átomo está prácticamente concentrada en el núcleo porque un protón es 1835 veces más pesado que un electrón. La individualidad física de los elementos se debe al número atómico o número de protones o electrones. Así el Cu: 29, y Fe 26, mientras que el peso atómico se debe principalmente al número de protones + neutrones que contiene el núcleo. Como el peso atómico del cobre es 63, el núcleo tiene P.A.- $Z = N$ $63-29 = 34$ neutrones. La tabla periódica es la clasificación de los elementos en orden de su número atómico, entre otras cosas.

El diámetro atómico del núcleo de hidrógeno es de 10^{-13} cm. Los electrones planetarios se agrupan en capas designadas por letras K, L, M, N, O, P, Q, que corresponden a niveles de energía de los electrones, cada vez más elevados a medida que va haciéndose mayor la distancia con respecto al núcleo. Cada capa permite un cierto número de electrones.

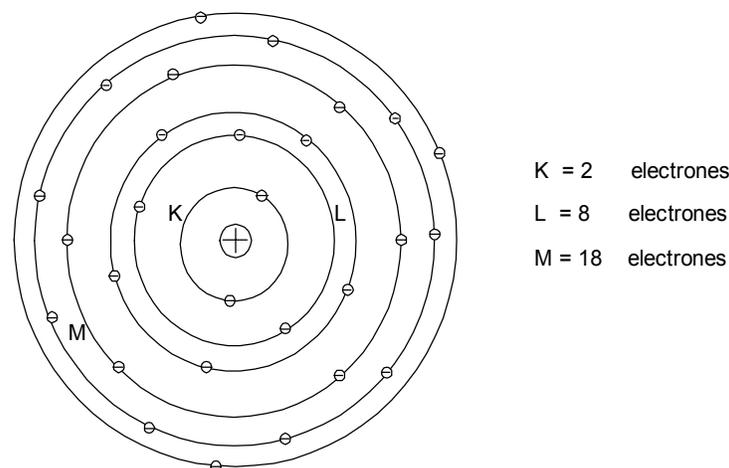


Figura 2: Esquema de los niveles de energía de los electrones

Luego no existen más de dos elementos con electrones en la capa K, el H y el He. Las capas se van saturando desde el núcleo hacia afuera. Los electrones de la última capa, reciben el nombre de electrones de valencia y son los electrones que están enlazados con más soltura con el núcleo y juegan un rol muy importante en el enlazamiento interatómico para formar sólidos. Como el sodio tiene un solo electrón en la última capa es "monovalente" y el magnesio es "bivalente" por tener dos.

Ahora a nosotros no nos interesa solo la descripción del átomo aislado, sino formando sólidos. Luego, estamos interesados en saber cómo los átomos se mantienen juntos, cual es la causa de la cohesión, este es el problema de los "enlaces".

5.4. ENLACE ATÓMICO

De todos los enlaces atómicos solo veremos los tres más importantes que se encuentran preferentemente en los sólidos, como ser:

- 1.-Enlace iónico
- 2.-Enlace Covalente
- 3.-Enlace Metálico

1.- Enlace Iónico:

Es el resultado de la atracción mutua de cargas positivas y negativas. (Solo permite explicar el caso de átomos diferentes). Por ejemplo consideremos los átomos Na y Cl. El sodio cede su último electrón al cloro que con ello completa su capa electrónica. Con ello ambos quedan cargados eléctricamente y se atraen entre ellos, aún más, cada ión atrae a todos los otros iones de carga contraria.

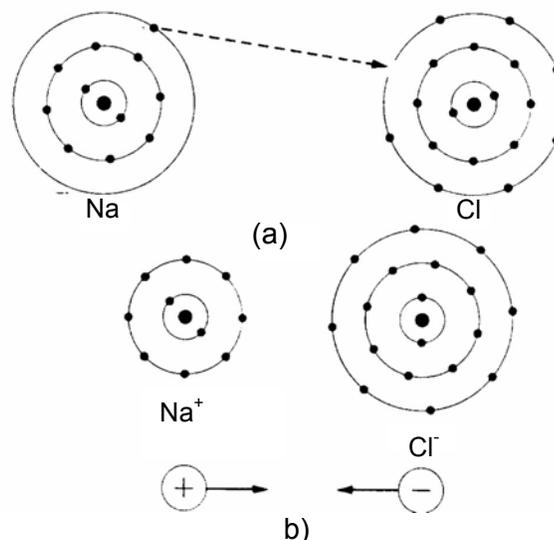


Figura 3: Enlace iónico del NaCl

2.- Enlace Covalente

Se obtiene al compartir los electrones de valencias para completar la capa. O puede interpretarse como la atracción de ambos núcleos por los electrones compartidos entre ellos. (Solo posible para átomos en que falten pocos electrones para completar la capa).

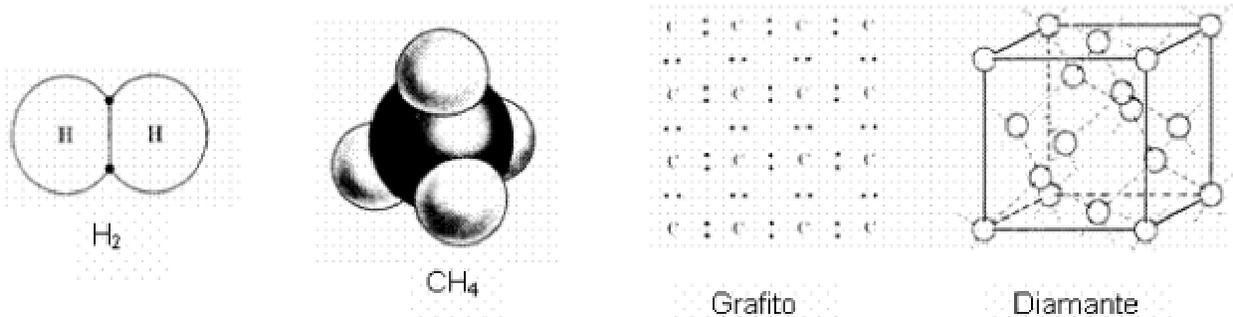


Figura 4: Ejemplos de enlaces covalentes

3.- Enlace Metálico

Es el más difícil de explicar. Pero un concepto simplificado puede tenerse si, se piensa que los metales por tener muy pocos electrones en la última capa electrónica los ceden para formar una nube electrónica que une los núcleos atómicos de carga positiva, este modelo se llama también el del pan de pascua, en que las frutas confitadas son los núcleos. Es evidente en este tipo de enlace que no hay restricción de direccionalidad ni otro límite al número de vecinos que no sea el debido a los tamaños de los núcleos, que no pueden interpenetrarse.

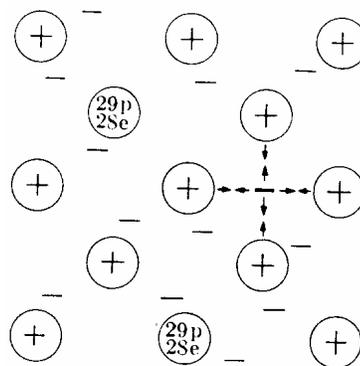


Figura 5: Enlace Metálico

5.5. ESTRUCTURAS MOLECULARES

Es la unión de dos o más átomos mediante un enlace primario preferentemente del tipo covalente, formando un conglomerado de enlaces saturados.

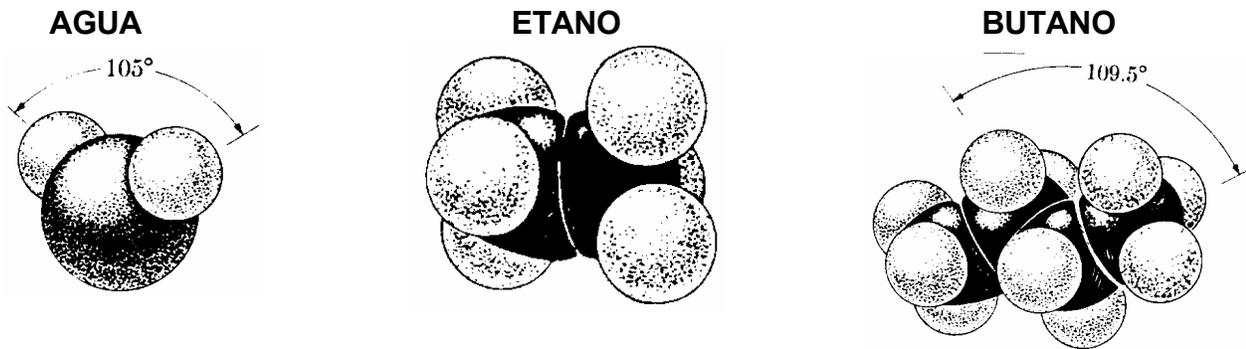
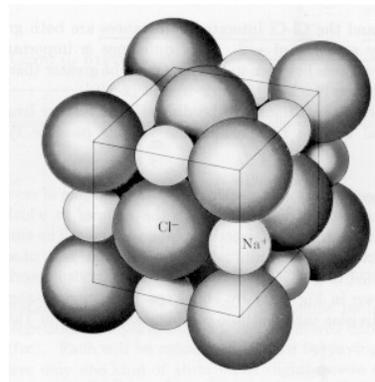
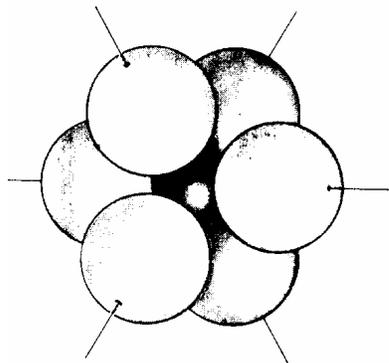


Figura 6: Estructuras moleculares

5.6. ESTRUCTURA CRISTALINA

Una molécula tiene una regularidad estructural por el enlace covalente, tiene un cierto número de vecinos y una cierta orientación entre los átomos. Si esta regularidad u orden se repite en tres dimensiones tenemos una estructura llamada **crystal**. Se detectó experimentalmente por la técnica de Difracción de Rayos X. Por ejemplo volvamos al caso de la sal común de mesa NaCl.



1. Cada Na^+ y cada Cl^- tiene seis vecinos más cercanos.
2. Hay igual número de iones Na^+ y Cl^-
3. Se forma un pequeño cubo cuyas aristas son: $2 R_{\text{Na}} + 2 R_{\text{Cl}}$
4. Este pequeño cubo se llama **celda unitaria**, que al repetirse en las tres dimensiones genera el cristal.
5. Los enlaces Na-Na y Cl-Cl están separados el doble de la distancia que los enlaces Na-Cl, esto le da la estabilidad a la estructura, ya que las fuerzas de atracción son más importantes que la de repulsión de cargas iguales.

5.7. ESTRUCTURA CRISTALINA DE METALES PUROS

- 1.- Todos los átomos son iguales, tienen el mismo tamaño y las mismas propiedades.
- 2.- La fuerza de cohesión es debida al enlace metálico.

La **crystalografía** (especialmente mediante Difracción de Rayos - X), nos enseña que los átomos de un metal están amontonados como bolas unas encima de otras. El sólido se genera por simple empaquetamiento en el espacio. Específicamente por ese empaquetamiento lo más compacto posible se reduce al máximo la energía de enlace. El sólido es cristalino si este amontonamiento de átomos se produce en forma ordenada en las tres direcciones del espacio.

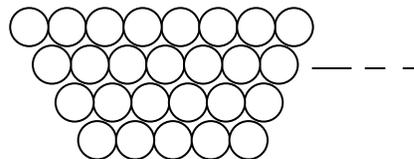
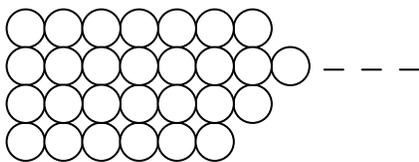
5.7.1. EMPAQUETAMIENTO COMPACTO LINEAL

Se obtiene colocando las esferitas una al lado de las otras tocándose una a la otra.



5.7.2. EMPAQUETAMIENTO EN EL PLANO

Se obtiene colocando líneas de esferas una al lado de las otras tocándose entre ellos. Había dos posibilidades. Abierto (se tocan en un punto) y más compacto (cada átomo de la línea agredada se toca con dos átomos de la primera línea).



5.7.3. EMPAQUETAMIENTO EN EL ESPACIO (TRES DIMENSIONES)

Se toman planos de átomos y se apilan unos sobre el otro para formar los **sólidos cristalinos**. Habría varias posibilidades, solo considerando que se apilen planos abiertos o planos compactos. Incluso hay varios modos en la secuencia de apilamiento con cada uno de los tipos de planos. Así a partir de planos compactos se generan las estructuras **Hexagonales compactas** y **Cubo de caras centradas**.

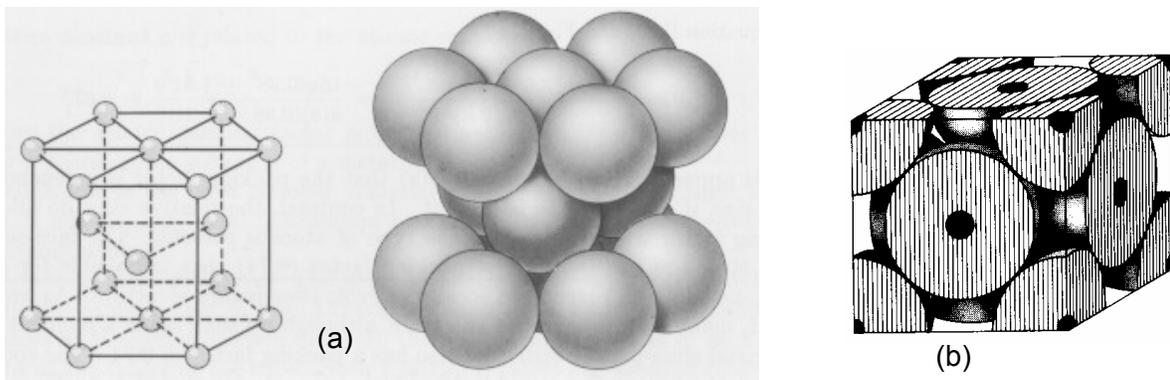


Figura 7: Estructuras cristalinas: (a) hexagonal compacta HCP y (b) cúbica centrada en las caras FCC

y a partir de planos abiertos se genera el cubo simple y el cubo de cuerpo centrado.

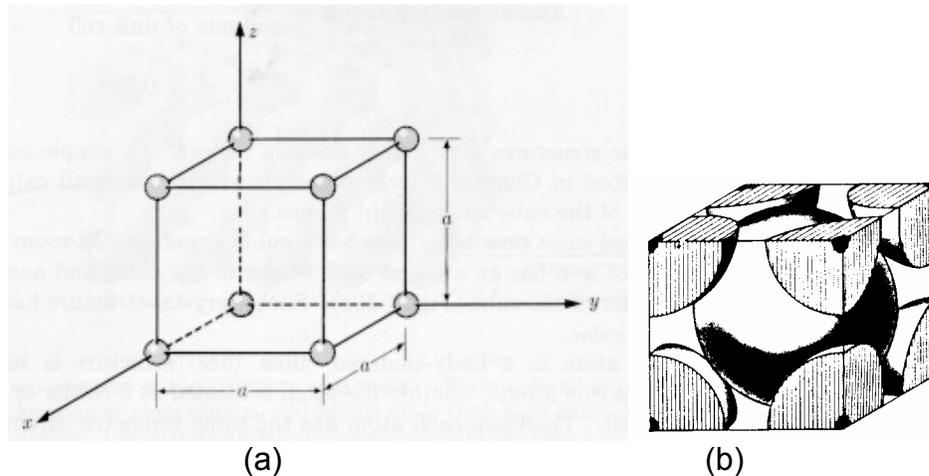


Figura 8: Estructuras cristalinas: (a) cúbica simple y (b) cúbica centrada en el cuerpo BCC

5.8. ESTRUCTURAS CRISTALINAS DE ALGUNOS METALES

Cubo Simple	:	Polonio < 10° C
Cubo de cuerpo centrado (BCC)	:	Fierro variedad alfa, estable, bajo 910° y sobre 1395° C variedad delta Titanio sobre 880° C.
Cubo de caras centradas (FCC)	:	Fe variedad gama, estable entre 910° y 1395° C. Cu, Al, Ag, Au, Pt, todo rango de temperatura hasta el punto de fusión.
Hexagonal Compacto (HCP)	:	Cd, Zn, Ti bajo 880° C.

5.9. DEFECTOS CRISTALINOS

A veces es muy difícil que los átomos se ordenen para formar un sólido cristalino, especialmente si los átomos tienen diferentes propiedades, ya sea solo de tamaño. Los sólidos no-cristalinos también se llaman **amorfos**. Especialmente es difícil el formar cristales de hidrocarburo por lo complejo que resulta el ordenamiento de las diferentes moléculas. Algunos sólidos no pueden cristalizar por no darles tiempo, por enfriarlos bruscamente. Un sólido amorfo es el vidrio de ventana. Mientras que enfriándolo lentamente es posible que los átomos de Na, Si y O se ordenen y se forme un cristal. Lo mismo puede ser el caso con los minerales por su mayor complejidad de diferentes átomos y la direccionalidad del enlace covalente que los cohesionan.

Luego no es difícil imaginarse que un cristal metálico no esté perfectamente cristalino si no que contenga defectos, estos pueden ser puntuales, lineales y de superficie o planares.

Puntuales: **Vacancia**: ausencia de un átomo en la red. Muy importante ya que sirven para explicar el movimiento de traslación de los átomos (**Difusión**) en la red cristalina.

Aleantes e Impurezas Sustitución de un átomo de la red por otro diferente (así se Forman las aleaciones) impurezas sustitucionales o por Inserción de un átomo más pequeño en los intersticios de la red.

Cu-Zn (radio atómico Cu 1.28 \AA , Zn 1.38 \AA) forman Aleaciones susstitucionales ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm.}$)

Fe-C (Fe : 1.26 \AA ; C : $0,8 \text{ \AA}$) aleaciones intersticiales.

Lineales: **Dislocaciones**: ausencia de una parte de un plano de Átomos.

Superficies: **Externas**: los átomos en la superficie no tienen el mismo Número de vecinos más cercanos que los que están más al interior del cristal.

Internas: bodes de granos, es la región en la cual limitan los pequeños cristales (granos) que tienen orientaciones cristalinas diferentes. Los materiales formados por muchos granos se llaman **policristalinos** y en este estado como se encuentran todos los metales y aleaciones usadas en ingeniería.

Fallas de Apilamiento: Son errores en la secuencia de apilamiento de planos cristalinos

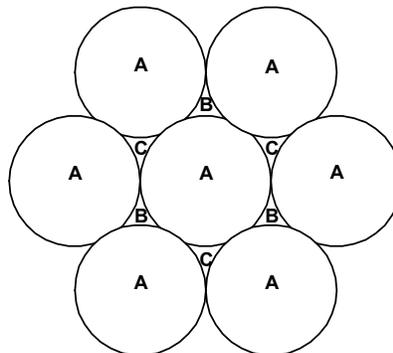


Figura 9: Plano compacto de átomos

**APILAMIENTO DE PLANOS**

Genera:	FCC	HCP	Secuencia con falla de apilamiento
→	A	A	A
	B	B	B
	C	A	C
	A	B	A
	B	A	C
	C	B	A
	A	A	B
	B	B	C

5.10. EXPLICACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS**Conducción Eléctrica:**

metales buenos conductores por tener Electrones libres. Disminuye a mayor temperatura por la agitación térmica de los iones que interfiere con el paso de electrones.

Polímeros y cerámicas: malos conductores por tener todos los electrones fijos por el enlace covalente o el iónico. A veces pueden conducir algo de electricidad por movimiento de iones (Difusión, movilidad de iones), esta se acentúa al aumentar la movilidad de los iones a más alta temperatura.

Deformación Permanente Plástica:

Por la no-direccionalidad del enlace metálico y lo compacto de los planos permite el fácil deslizamiento de los planos uno sobre el otro sin que se rompan enlaces.

Bibliografía:

Materiales de Ingeniería, **Van Vlack Ed. CECSA.** o cualquier libro de Metalurgia Física o Metalurgia General.

PROPIEDADES FÍSICAS Y ESTRUCTURALES DE LOS MATERIALES ASOCIADOS CON EL TIPO DE ENLACE ATÓMICO

Propiedades	Enlace iónico	Enlace Covalente	Enlace Metálico	Enlace de Van Der Waals
Estructurales	No direccional, determina estructuras de alta coordinación	Especialmente dirigido y numéricamente limitado, determina estructuras de baja coordinación y baja densidad.	No direccional, determina estructuras de alta coordinación y alta densidad	Análogo al Metálico
Mecánicas	Resistente, cristales de gran dureza	Análogo al iónico	Resistencia variable, plasticidad es común	Débil, cristales blandos
Térmicas	Medianamente alto punto de fusión, bajo coeficiente de expansión, iones al estado líquido.	Alto punto de fusión. Bajo coeficiente de expansión, moléculas al estado líquido.	Punto de fusión variable. Gran intervalo de temperaturas al estado líquido.	Bajo punto de fusión. Coeficiente de expansión grande.
Eléctricas	Aisladores moderados. Conducción por transporte iónico en el estado líquido. A veces soluble en líquidos de alta constante dieléctrica	Aisladores en el estado sólido y líquido.	Conducción por transporte electrónico.	Aisladores.
Ópticas y Magnéticas	Absorción y otras propiedades son características de los iones individuales, similarmente en soluciones	Alto índice de refracción, absorción totalmente diferente en soluciones y/o gases	Opacos. Propiedades similares en el estado líquido.	Propiedades características de las moléculas individuales, similarmente en solución o gases.



PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

GROUP IA

PERIOD

INERT GASES

Naturally occurring radioactive isotopes are indicated by a blue mass number. Half lives are in parentheses where s, m, h, d and y stand for seconds, minutes, hours, days and years respectively. The symbols describing the mode of decay and resulting radiation are defined as follows:

α alpha particle
β beta particle
γ gamma ray
L L-capture
SF spontaneous fission
SF neutron capture
SF proton capture
SF internal electron conversion

Table of Radioactive Isotopes

III A

III B

IV A

IV B

V A

V B

VI A

VI B

VII A

VII B

VIII

IX

X

XI

XII

III B

IV B

V B

VI B

VII B

VIII

IX

X

XI

XII

1 1.00794 1 Hydrogen	2 4.00260 2 Helium	3 6.939 3 Lithium	4 9.0122 4 Beryllium	5 9.01218 5 Boron	6 10.811 6 Carbon	7 12.011 7 Nitrogen	8 15.9994 8 Oxygen	9 18.9984 9 Fluorine	10 20.183 10 Neon	11 22.98977 11 Sodium	12 24.312 12 Magnesium	13 26.981538 13 Aluminum	14 28.086 14 Silicon	15 30.973762 15 Phosphorus	16 32.06 16 Sulfur	17 35.453 17 Chlorine	18 39.948 18 Argon	19 39.0983 19 Potassium	20 40.078 20 Calcium	21 44.955912 21 Scandium	22 47.867 22 Titanium	23 50.9415 23 Vanadium	24 50.9415 24 Chromium	25 51.99616 25 Manganese	26 55.845 26 Iron	27 58.9332 27 Cobalt	28 58.9332 28 Nickel	29 58.9332 29 Copper	30 65.37 30 Zinc	31 69.723 31 Gallium	32 72.64 32 Germanium	33 74.9216 33 Arsenic	34 78.96 34 Selenium	35 79.904 35 Bromine	36 83.80 36 Krypton	37 85.4678 37 Rubidium	38 87.62 38 Strontium	39 88.9062 39 Yttrium	40 90.9073 40 Zirconium	41 91.224 41 Niobium	42 92.90638 42 Molybdenum	43 95.94 43 Technetium	44 95.94 44 Ruthenium	45 101.07 45 Rhodium	46 101.07 46 Palladium	47 102.90550 47 Silver	48 102.90550 48 Cadmium	49 114.42 49 Indium	50 114.42 50 Tin	51 121.757 51 Antimony	52 127.60 52 Tellurium	53 126.90447 53 Iodine	54 131.30 54 Xenon	55 132.90545 55 Cesium	56 137.34 56 Barium	57 138.90547 57 Lanthanum	58 138.90547 58 Cerium	59 140.90768 59 Praseodymium	60 140.90768 60 Neodymium	61 144.24 61 Promethium	62 150.35 62 Samarium	63 151.96 63 Europium	64 157.25 64 Gadolinium	65 158.92535 65 Terbium	66 162.50 66 Dysprosium	67 164.93032 67 Holmium	68 167.26 68 Erbium	69 168.93402 69 Thulium	70 173.04 70 Ytterbium	71 174.97 71 Lutetium	72 175.04 72 Hafnium	73 178.49 73 Tantalum	74 180.948 74 Niobium	75 183.85 75 Molybdenum	76 186.21 76 Technetium	77 188.90625 77 Ruthenium	78 192.22 78 Rhodium	79 196.96657 79 Silver	80 200.49846 80 Cadmium	81 200.49846 81 Indium	82 200.49846 82 Tin	83 208.98040 83 Antimony	84 208.98040 84 Tellurium	85 210.98748 85 Iodine	86 222.01758 86 Xenon	87 223.01993 87 Francium	88 226.02541 88 Radium	89 227.02771 89 Actinium	90 228.02871 90 Thorium	91 232.03772 91 Protactinium	92 238.02891 92 Uranium	93 238.02891 93 Neptunium	94 238.02891 94 Plutonium	95 244.06422 95 Americium	96 244.06422 96 Curium	97 247.07030 97 Berkelium	98 251.07643 98 Californium	99 252.08395 99 Einsteinium	100 257.10375 100 Fermium	101 257.10375 101 Mendelevium	102 258.10510 102 Nobelium	103 259.10628 103 Lawrencium
-------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	----------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------	---------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---------------------------------	------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	--	-------------------------------------	---------------------------------------

KEY

ATOMIC NUMBER

BOILING POINT, °C

MELTING POINT, °C

DENSITY (g/ml) (4)

SYMBOL (1)

STRUCTURE

NAME

ATOMIC WEIGHT (2)

OXIDATION STATES (Bold most stable)

NOTES:

(1) Black — solid.
Red — gas.
Blue — liquid.
Outline — synthetically prepared.
(2) Based upon carbon = 12. () indicates most stable or best known isotope.
(3) Proposed, not officially accepted.



SARGENT & CO.
E. H. SARGENT & CO. SCIENTIFIC LABORATORY EQUIPMENT
CHICAGO DETROIT DALLAS BIRMINGHAM SPRINGFIELD N.Y. ANAHEIM CALIF.

SIDE 1



TABLE OF PERIODIC PROPERTIES OF THE ELEMENTS

Percent Ionic Character of a Single Chemical Bond

Difference in electronegativity	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2
Percent ionic character, %	0.5	1	2	4	6	9	12	15	19	22	26	30	34	39	43	47	51	55	59	63	67	70	74	76	79	82	84	86	88	89	91	93

Sub-Atomic Particles

Symbol	Electron	Positron	Proton	Neutron	Photon	Neutrino	Meson	Hyperon
Mass	9.109 × 10 ⁻³¹ kg	9.109 × 10 ⁻³¹ kg	1.673 × 10 ⁻²⁷ kg	1.675 × 10 ⁻²⁷ kg	1.35 × 10 ⁻²⁷ kg	1.675 × 10 ⁻²⁷ kg	1.78 × 10 ⁻²⁷ kg	1.67 × 10 ⁻²⁷ kg
Charge	-1.602 × 10 ⁻¹⁹ C	+1.602 × 10 ⁻¹⁹ C	+1.602 × 10 ⁻¹⁹ C	0	0	0	0	0
Spin	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	0	1/2
Magnetic moment	9.28 × 10 ⁻²⁴ J/T	9.28 × 10 ⁻²⁴ J/T	1.83 × 10 ⁻²⁶ J/T	5.05 × 10 ⁻²⁷ J/T	1.83 × 10 ⁻²⁶ J/T			
Mean life	stable	stable	stable	stable	stable	stable	2.2 × 10 ⁻¹³ s	10 ⁻¹⁰ to 10 ⁻¹² s
Decay modes								

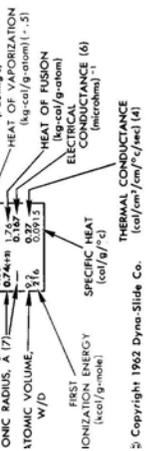
He	Inert Gases															
Ne	Inert Gases															
Ar	Inert Gases															
Kr	Inert Gases															
Xe	Inert Gases															
Rn	Inert Gases															

Li	Be	B	C	N	O	F	Ne										
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Actinides														

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

NOTES:

- Element sublimates
- For representative oxides (higher valence) of group. Oxide is acidic if color is red, basic if color is blue and amphoteric if both colors are shown. Intensity of color indicates relative strength.
- (1) Cubic, face centered; (2) Cubic, body centered; (3) Cubic, diamond; (4) Cubic, hexagonal; (5) Hexagonal; (6) Rhombohedral; (7) Tetragonal; (8) Orthorhombic; (9) Monoclinic.
- Proposed, not officially accepted (4) At room temperature. (5) At boiling point.
- From 0° to 20°C. (7) Ionic (crystal) radii for coordination number 6.
- Metallic radii for coordination number of 12.



SARGENT & CO. SCIENTIFIC LABORATORY EQUIPMENT
 CHICAGO, DETROIT, DALLAS, BIRMINGHAM, SPRINGFIELD, N.Y., ANAHEIM, CALIF.