

**MATERIAL DE CONSULTA
DEL CURSO DE CIENCIA
DE LOS MATERIALES
PARA INGENIEROS**

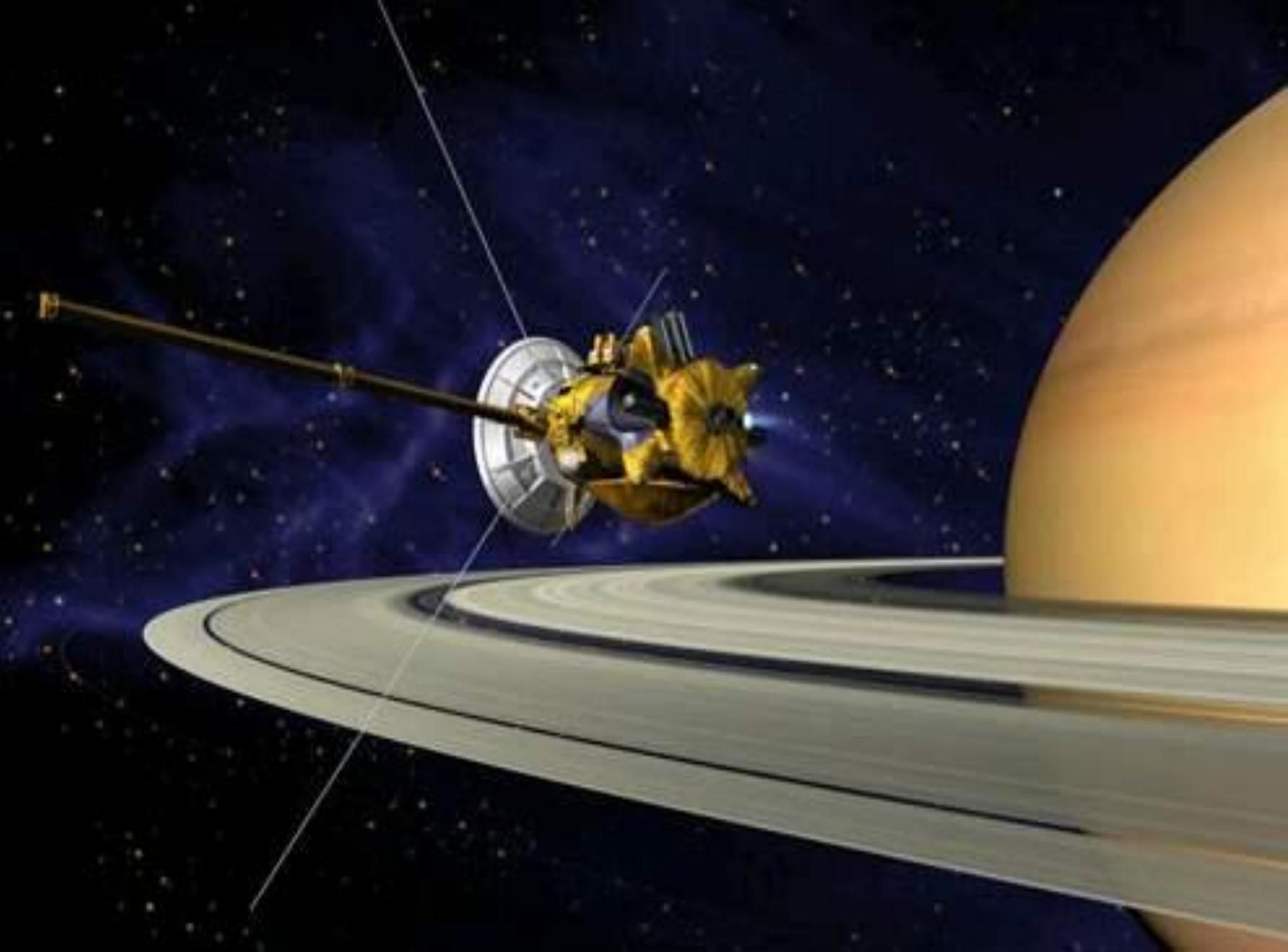
MD. Julio Alberto Aguilar Schafer

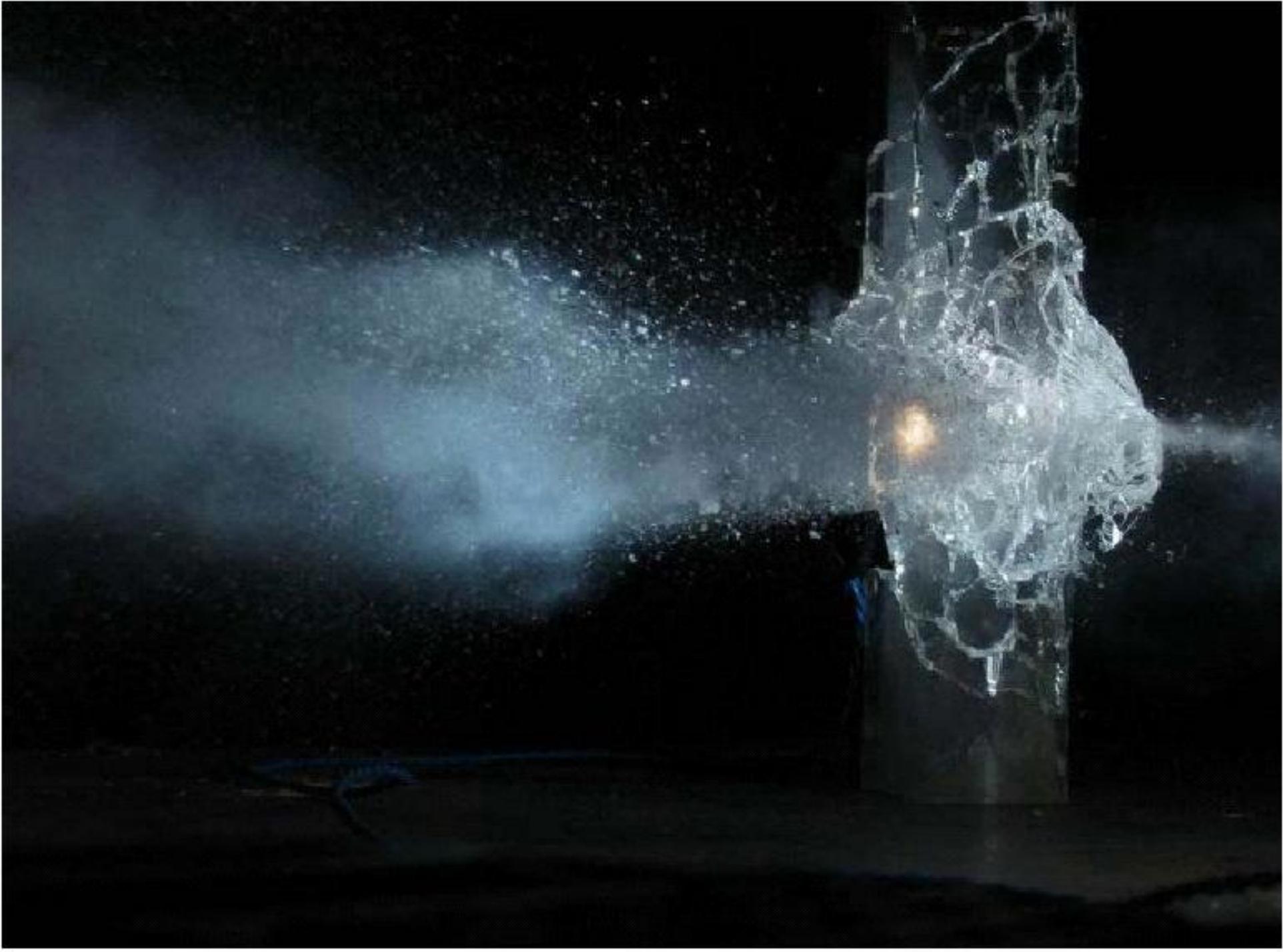
CONTENIDO

- **Introducción**
- **Ciencia de los materiales**
- **Estructuras Cristalinas**
- **Los granos en los metales**
- **Deformación de los metales**
- **Oxidación y Corrosión**
- **Aleaciones binarias**
- **Aleaciones Fe-C**
- **Tratamientos de los aceros**
- **Hornos industriales**
- **Hierro fundido**
- **Cobre y aleaciones**
- **Aluminio y aleaciones**
- **Titanio y aleaciones**
- **Cerámicos**
- **Polímeros**
- **Compuestos**
- **Depósitos minerales**
- **Explotación de minerales**
- **Extracción del Hierro**
- **Extracción del Cobre**
- **Extracción del Aluminio**
- **Extracción del Oro**
- **Extracción del Níquel**

CIENCIA DE LOS MATERIALES

MD. Julio Alberto Aguilar Schafer

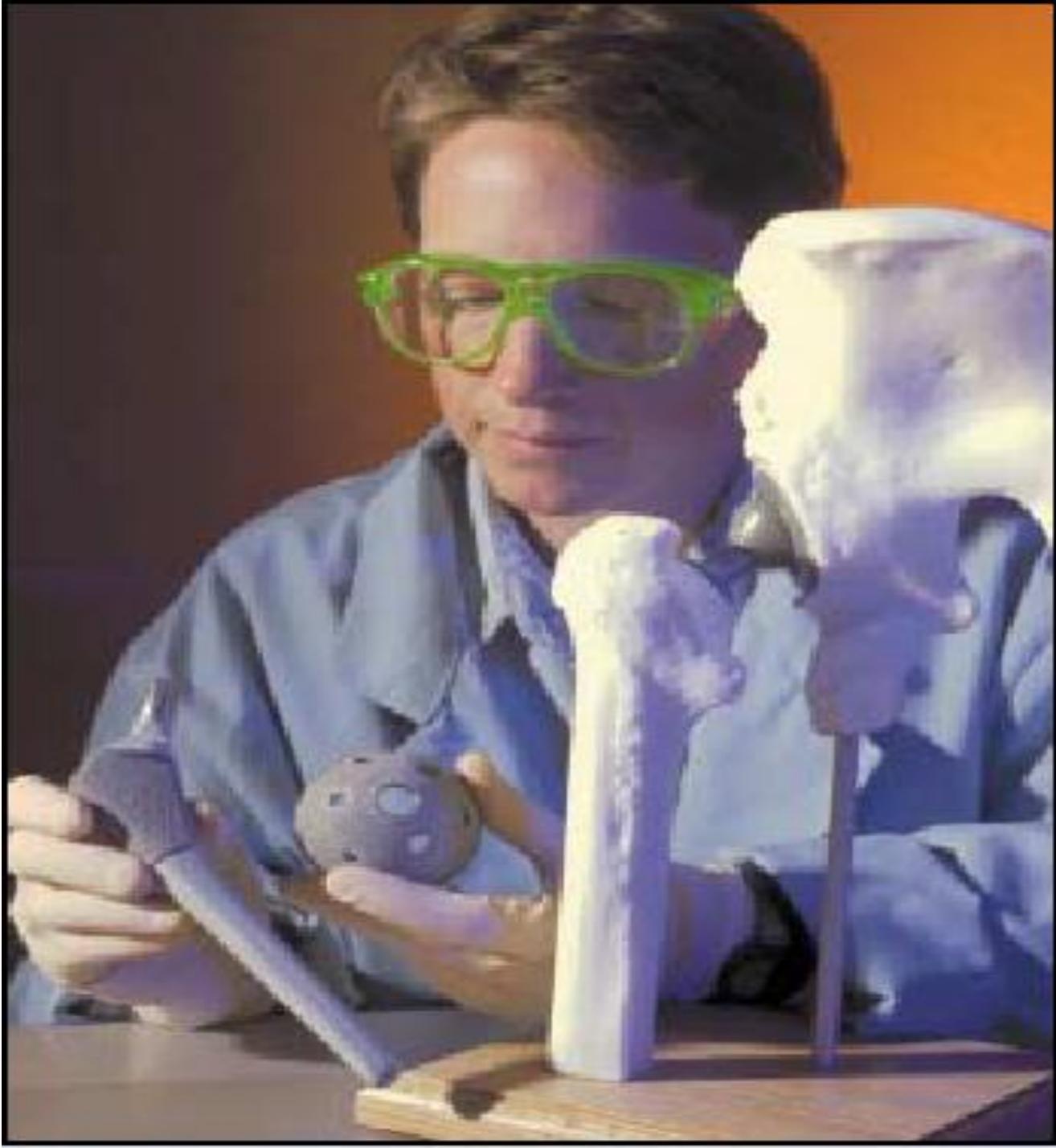




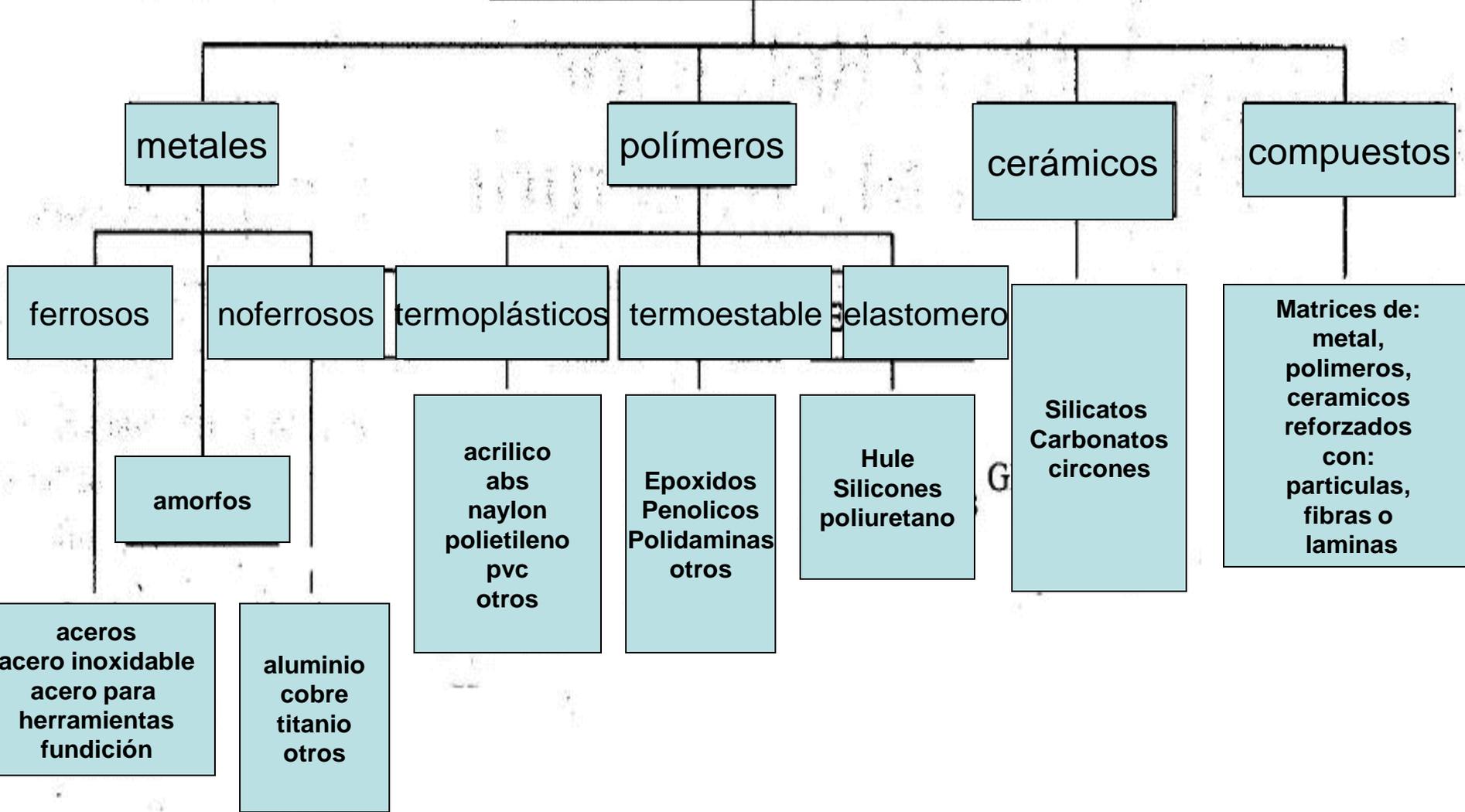




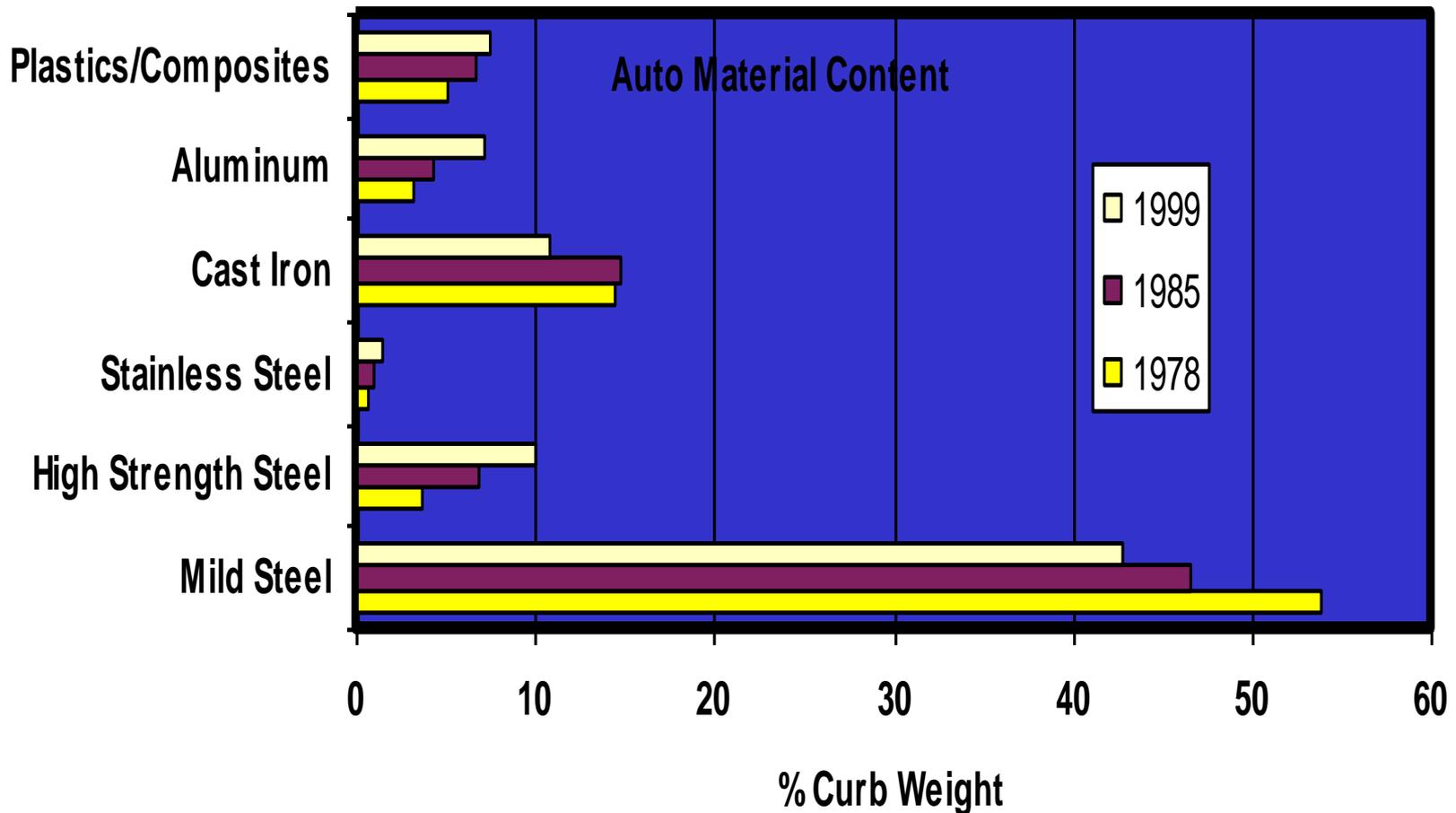




Materiales para ingenieria



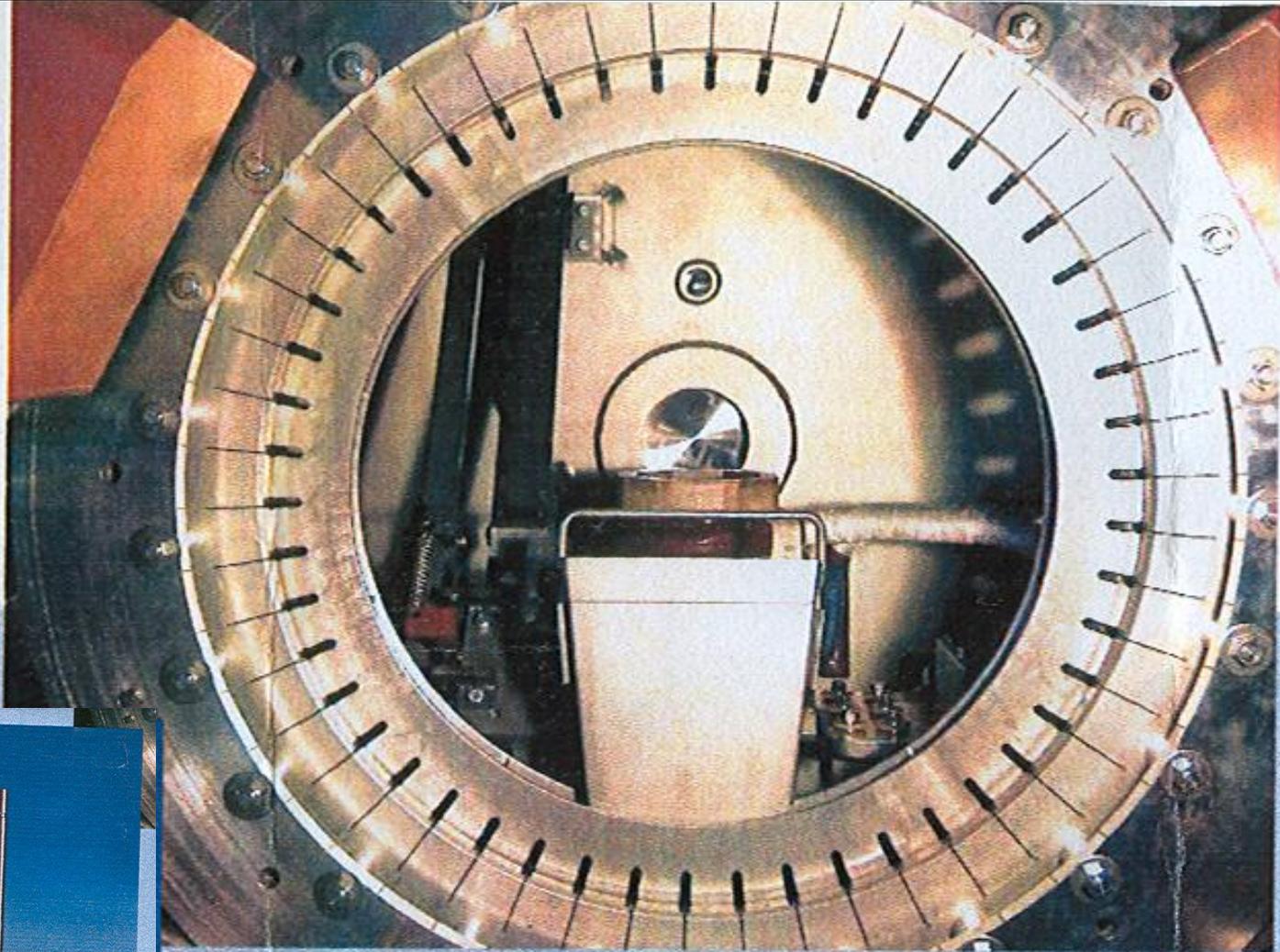
Tipo y peso de materiales usados en un auto

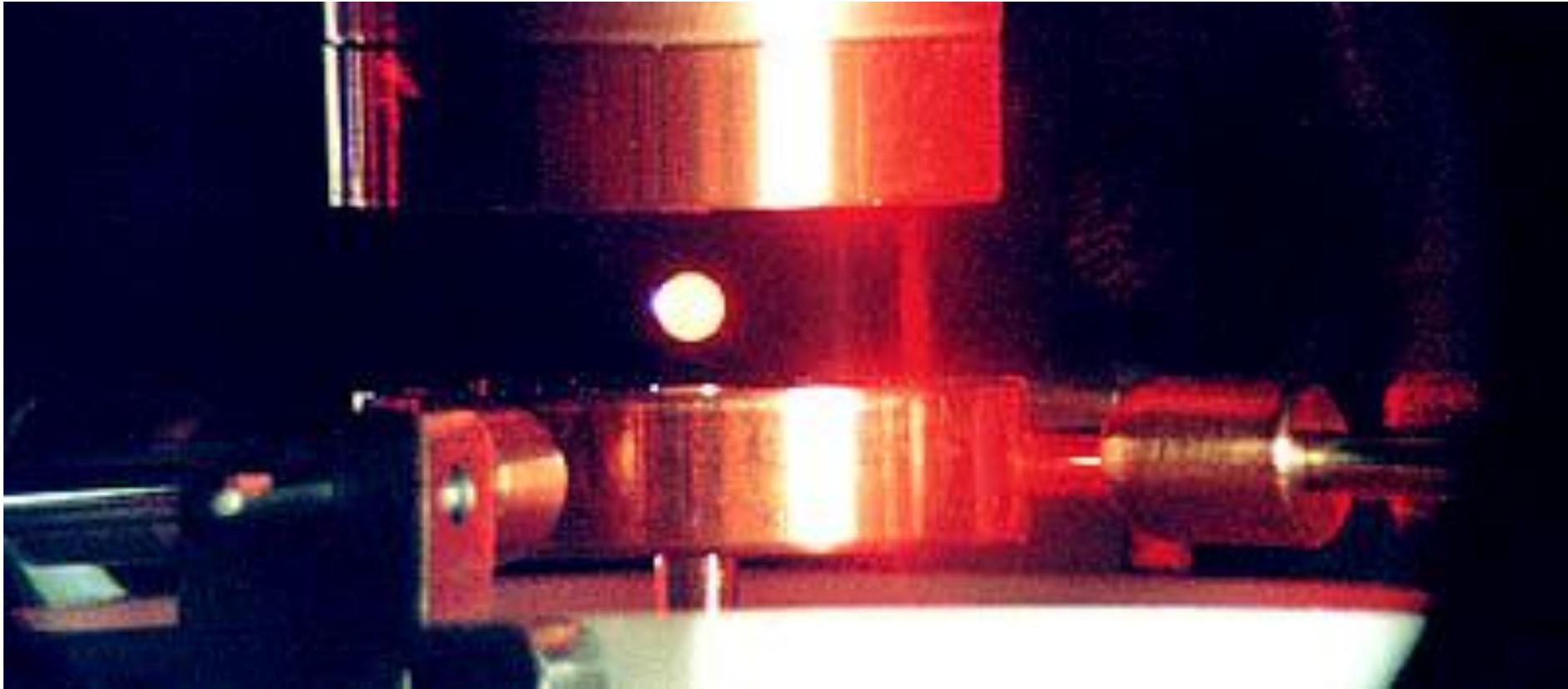




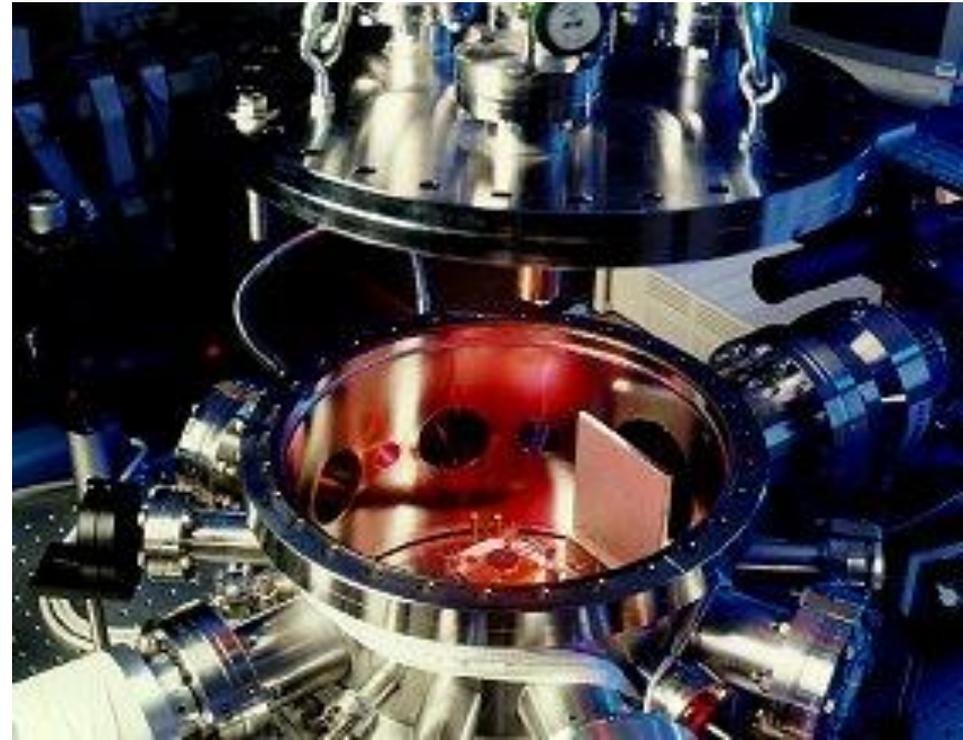
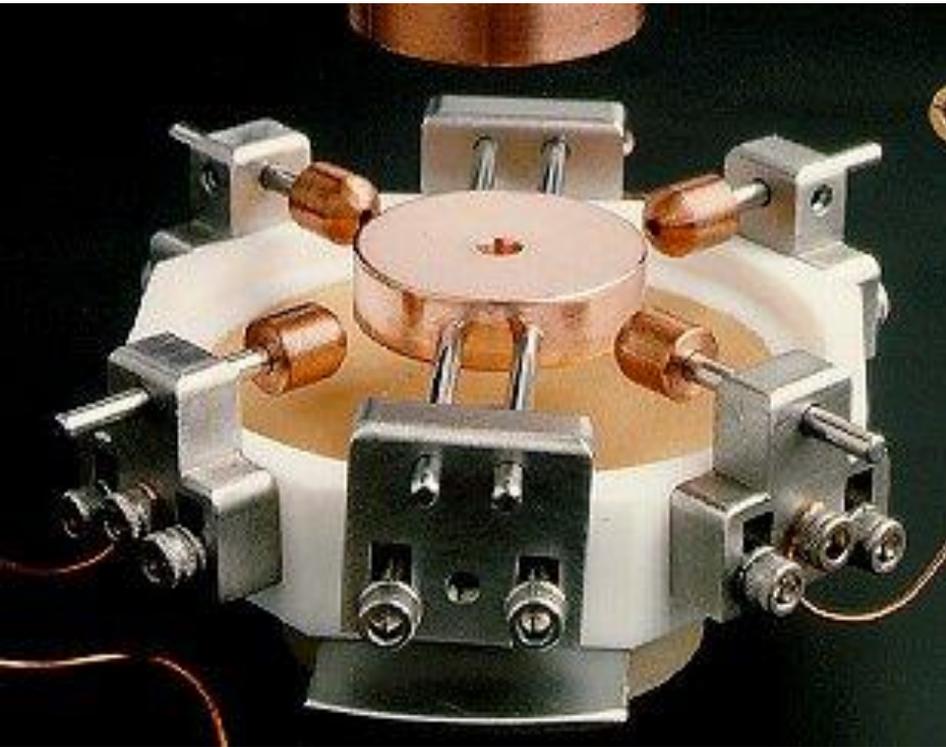
Microscopio electrónico

Valvulas de superaleación TiAl, tierras raras





Una gota de níquel-zirconio de 3 mm, calentada hasta su incandescencia, flota entre placas cargadas de electricidad y dentro de la cámara al vacío del Levitador Electrostático.



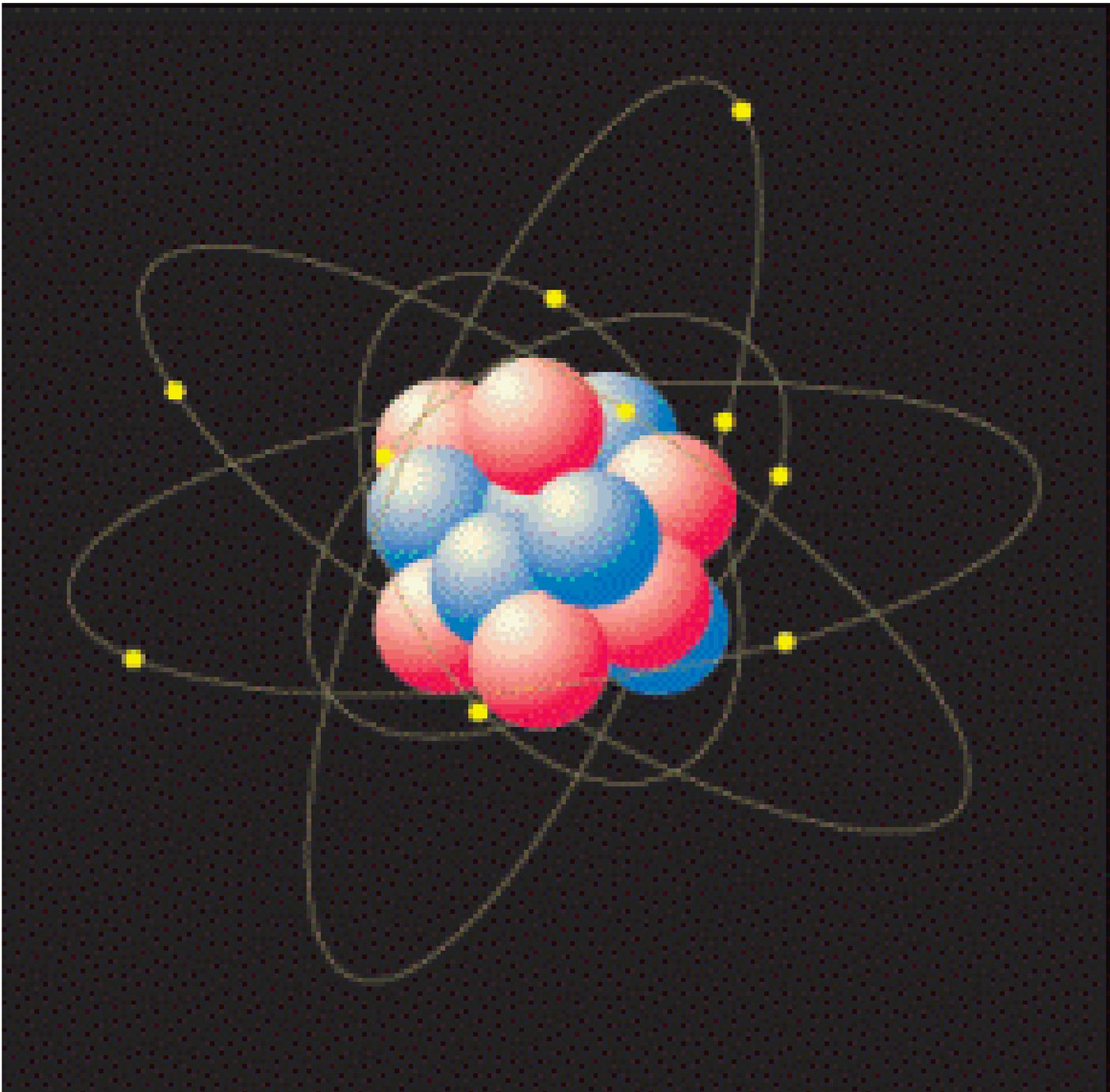
El componente principal del ESL es la cámara al vacío. (derecha) Esta contiene un par de placas electrostáticas y cuatro electrodos que colocan en posición la muestra en proceso (Izquierda). La posición de la muestra se determina por la sombra que proyecta sobre detectores mientras dos láseres envían rayos de luz en ángulo recto a través de la cámara al vacío y sobre la muestra.

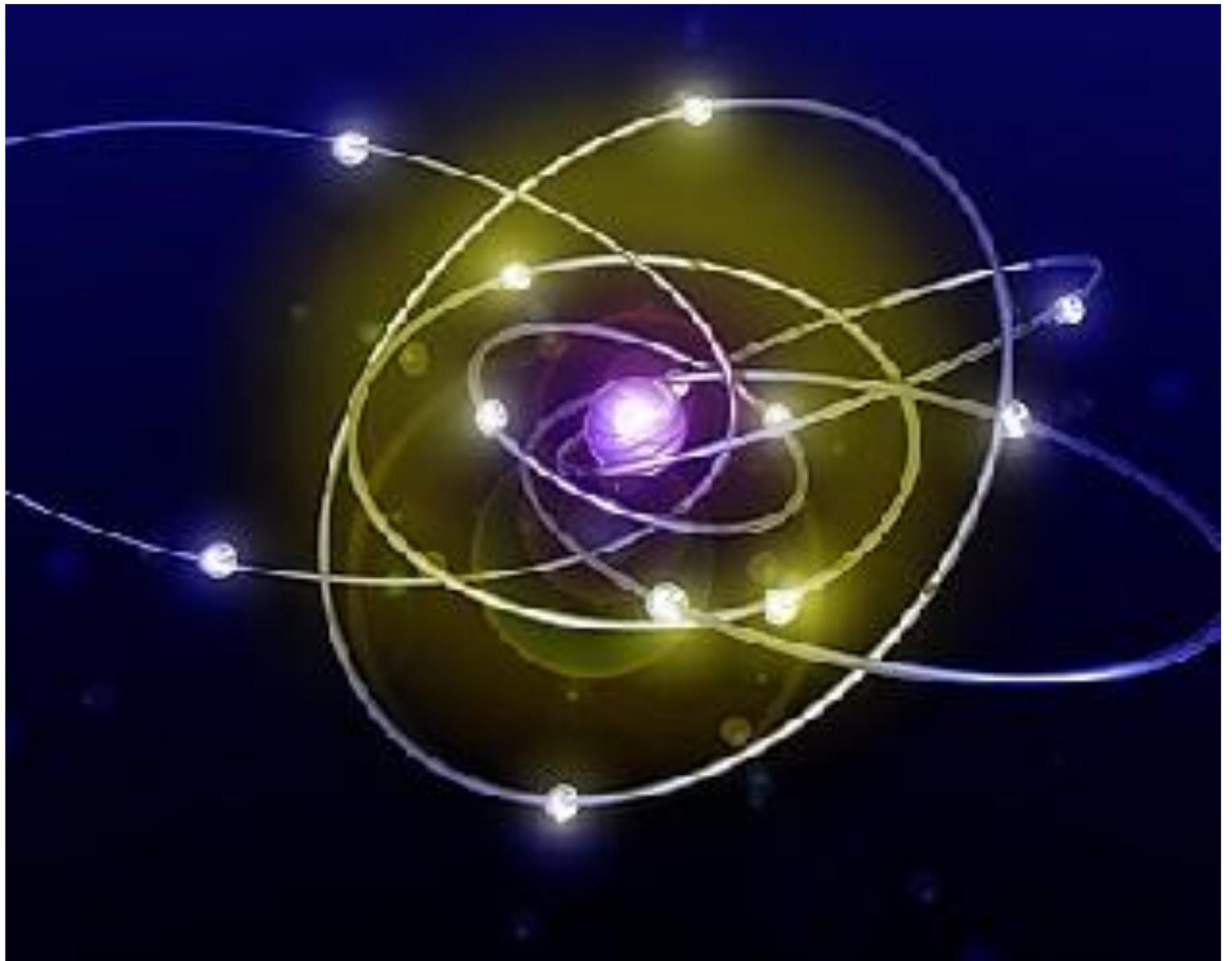
Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Periodo 1	1																	2	
1	H																		He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	57* La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
7	87 Fr	88 Ra	89** Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub		114 Uuq		116 Uuh		118 Uuo	

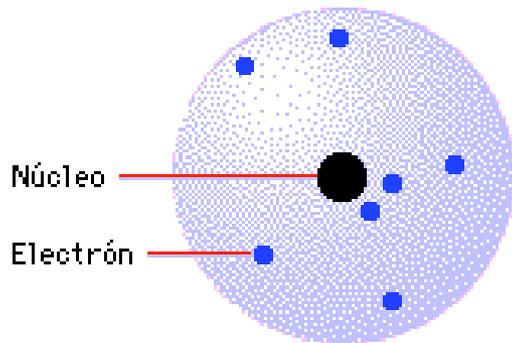
○ No Metales	● Gases Nobles
● Metales alcalinos	● Metaloides
● Metales Alcalinotérreos	● Halógenos
● Metales de Transición	● Otros Metales
● Tierras raras	

*Lantánidos	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
**Actínidos	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Tabla periódica de los elementos químicos



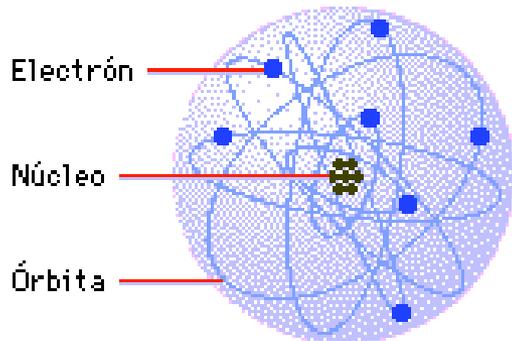




Núcleo

Electrón

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.



Electrón

Núcleo

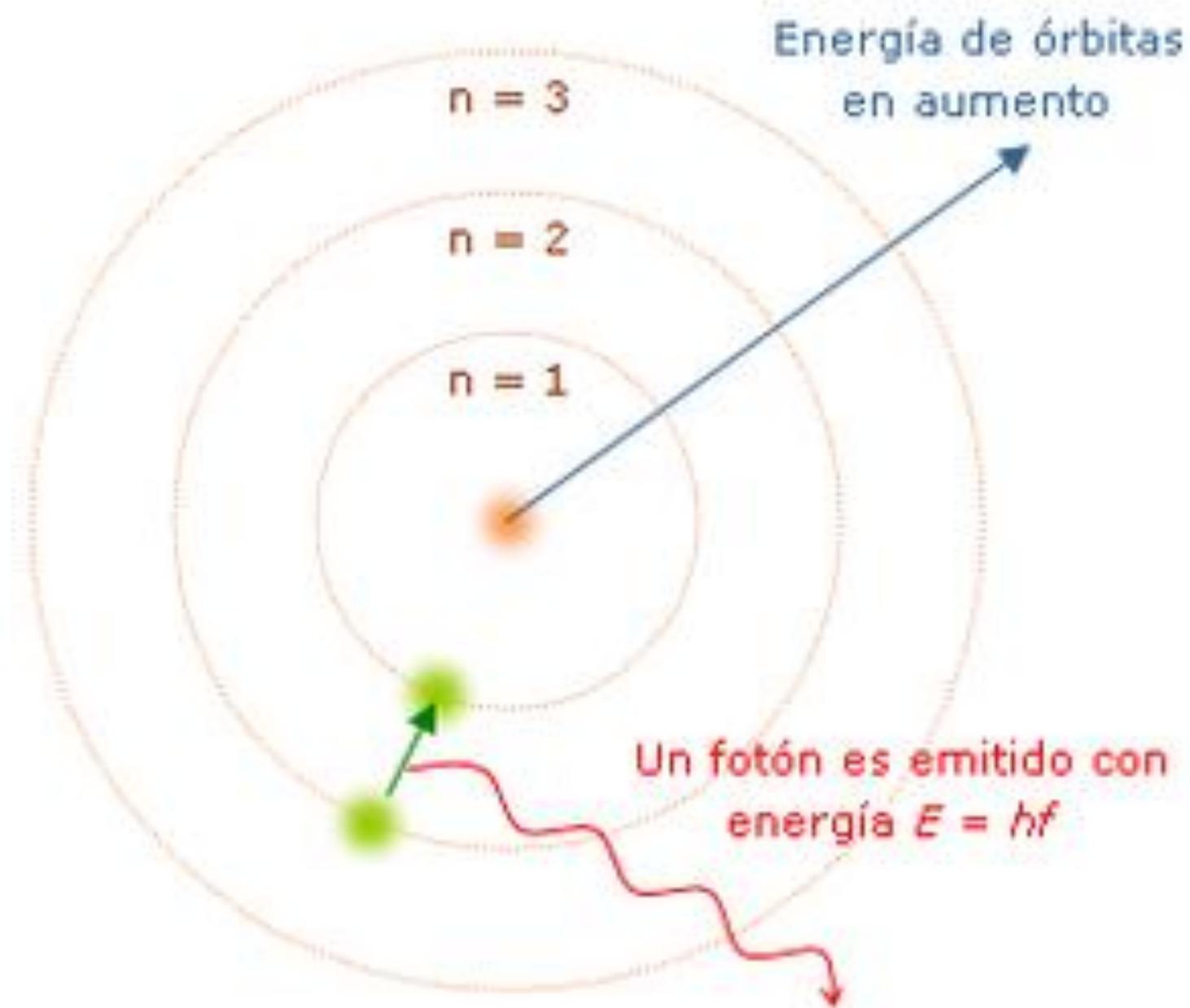
Órbita

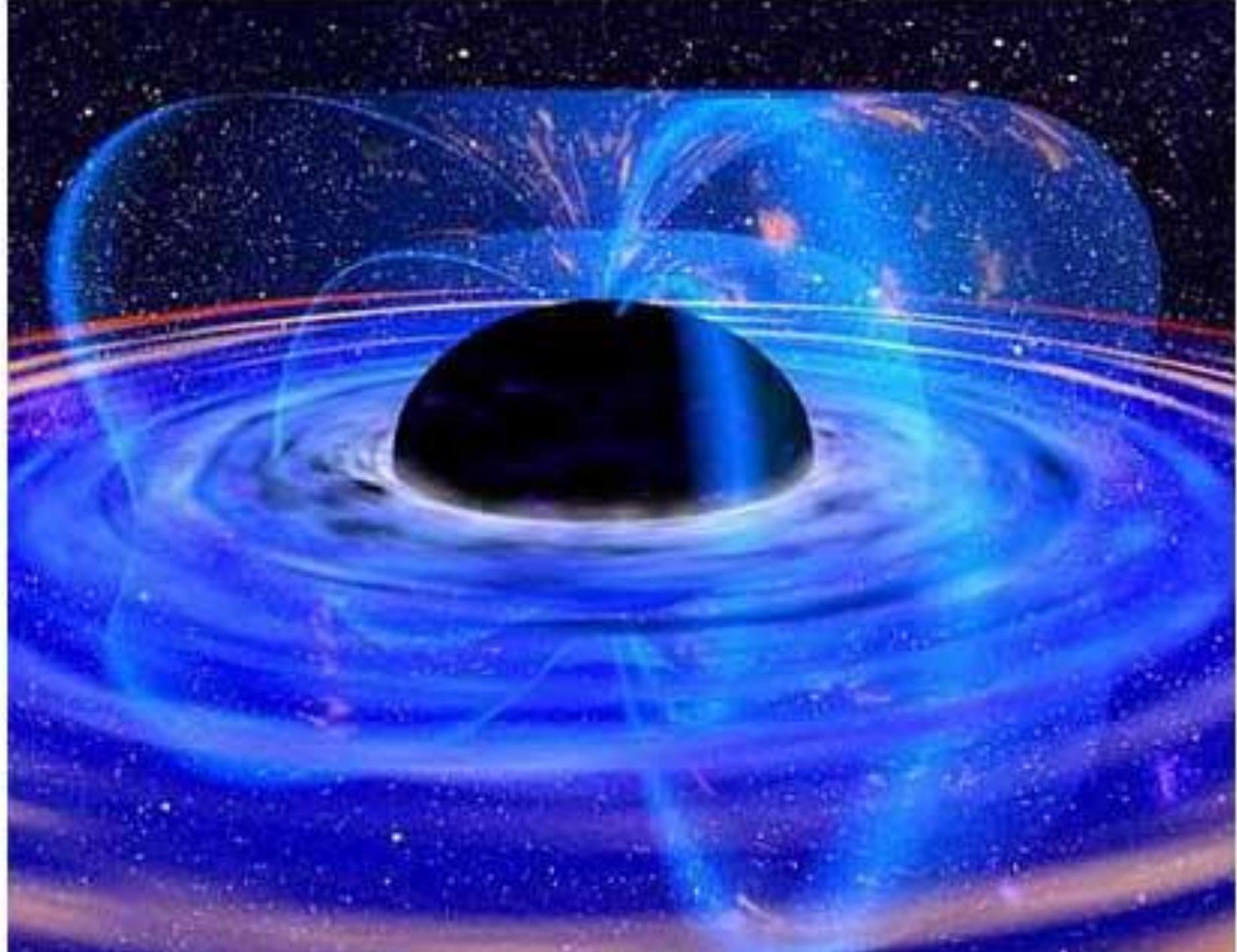
El modelo de Bohr 'cuantizaba' las órbitas para explicar la estabilidad del átomo.

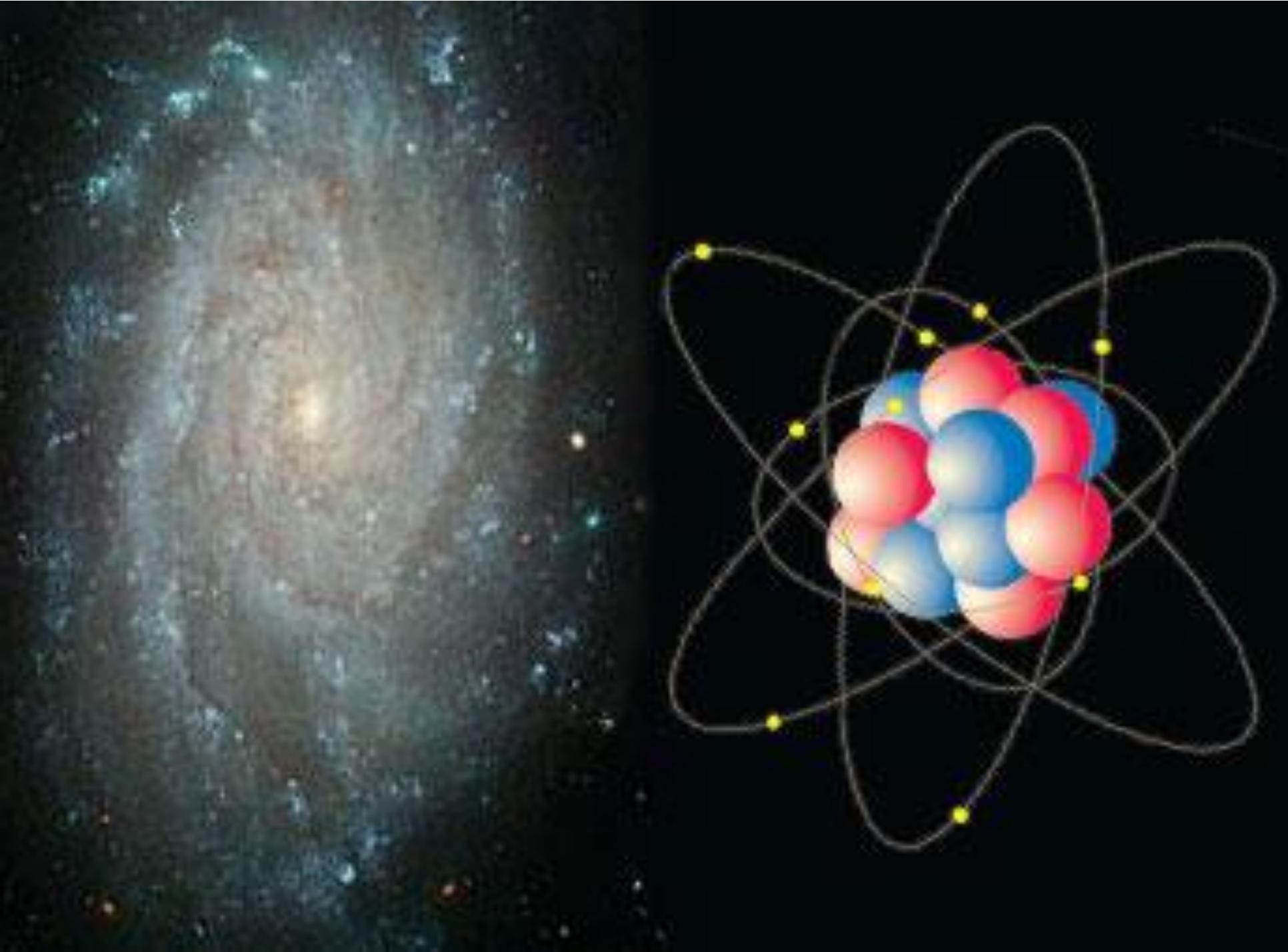


Orbitales: los electrones con diversos valores de momento angular ocupan regiones del espacio como éstas. La intensidad del sombreado indica la probabilidad de encontrar un electrón a esa distancia.

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 encuentren los electrones.





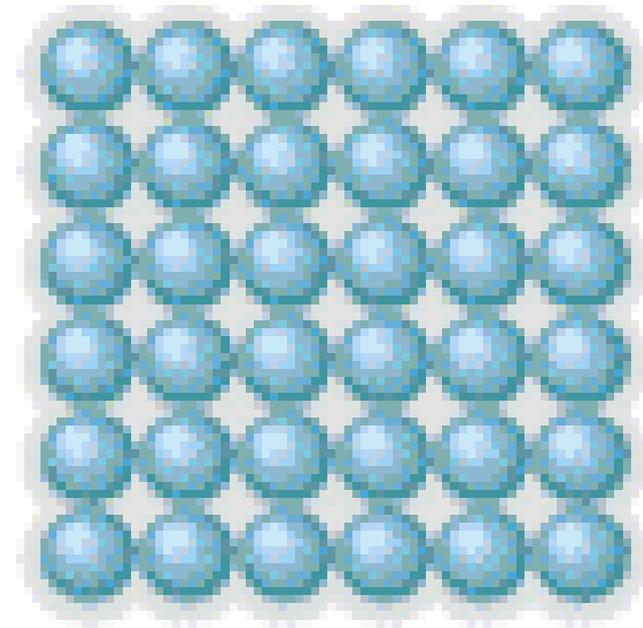


ESTADOS DE LA MATERIA

- **Los diferentes estados en que podemos encontrar la materia se denominan estados de agregación de la materia.**
- **Las distintas formas en que la materia se "agrega", como un conjunto de átomos, se pueden clasificar en siete estados:**
- **Sólido**
- **Líquido**
- **Gaseoso**
- **Plasma**
- **Condensado de Bose-Einstein**
- **Condensa Fermiónicos**
- **Como quark-gluones**

ESTADO SOLIDO

- **Manteniendo la presión a baja temperatura los cuerpos se presentan en forma sólida.**



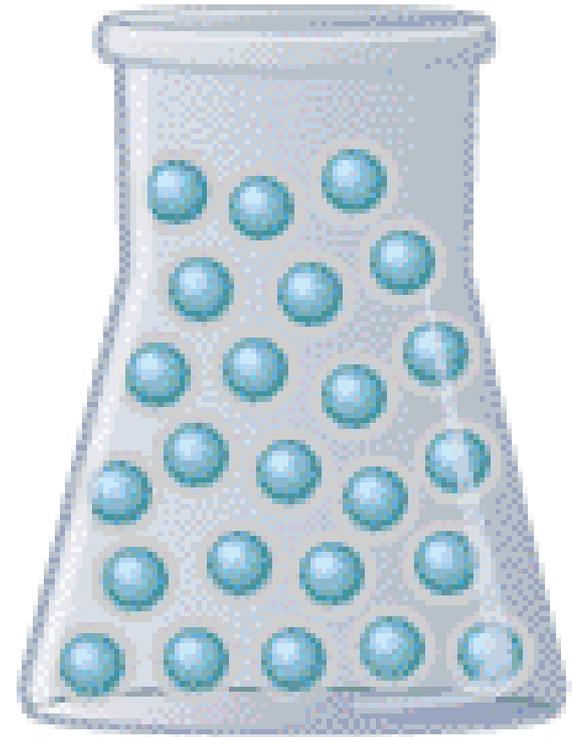
Sólido

- **Generalmente los cuerpos en estado sólido son rígidos, duros y resistentes.**
- **Características:**
- **Tienen forma fija.**
- **Su volumen no varía prácticamente al comprimirlo.**
- **Su estructura es ordenada.**

- **Los sólidos se pueden identificar por presentar dos propiedades fundamentales:**
- **Elasticidad: un sólido recupera su forma aún cuando es desformado.**
- **Fragilidad: un sólido puede romperse en varios pedazos; es quebradizo.**

ESTADO LIQUIDO

- Con el aumento de la temperatura el sólido se va descomponiendo hasta desaparecer la estructura sólida alcanzándose el estado líquido, cuya característica principal es la capacidad de fluir y adaptarse a la forma del recipiente que lo contiene.



Líquido

- **Características:**
- **Su forma es la del recipiente .**
- **Su volumen varía poco al comprimirlo .**
- **No tiene una estructura muy ordenada.**

ESTADO GASEOSO

- En este estado incrementando aún más la temperatura se alcanza el estado gaseoso.



Gas

- **Los átomos o moléculas del gas se encuentran virtualmente libres de modo que son capaces de ocupar todo el espacio del recipiente que lo contiene, es decir ocupa todo el espacio disponible.**
- **Características:**
- **Su forma es la del recipiente .**
- **Al comprimirlos su volumen varía mucho.**
- **Su estructura molecular es desordenada.**

ESTADO DE PLASMA

- Es considerado el cuarto estado de la materia.
- Es un gas ionizado.
- Es un estado que se alcanza a grandes temperaturas.



Plasma, el cuarto estado de la materia

¿Como cuarto estado? ¿Es que no existen tres estados? Existe el gas, el líquido y el sólido...¿existen mas estados?



Pues si que existen, y además uno de ellos es el estado mas abundante en el universo: el plasma. Existe todavía un quinto estado de la materia: los condensados de Bose-Einstein, predichos por Bose y Einstein en 1924, realizados en el laboratorio durante el año 1995 por Eric Cornell, Wolfgang Ketterle y Carl Wieman. Ganadores éstos del Nobel en el 2001, pudieron enfriar átomos hasta casi dejarlos inmóviles. Éste nuevo estado poseen propiedades que otros estados no poseen como la superconductividad y la superfluidez

Hablamos todos los días de televisores de plasma, pero ¿que es el plasma?

El plasma es gas que debido a una corriente eléctrica elevada o a mucha temperatura ha sido capaz de perder un electrón, formándose a la vez una especie cargada positivamente o catión.

Entonces, ¿porque no se le llama gas cargado, simplemente? porque posee propiedades físicas diferentes, por ejemplo conduce la electricidad de una manera espectacular

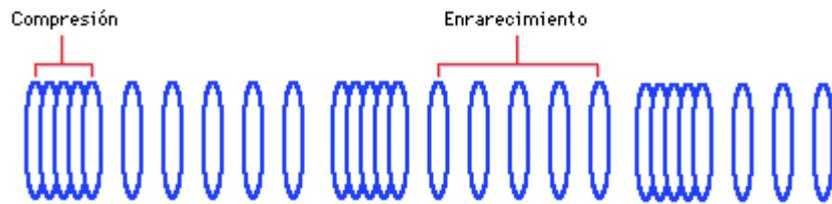
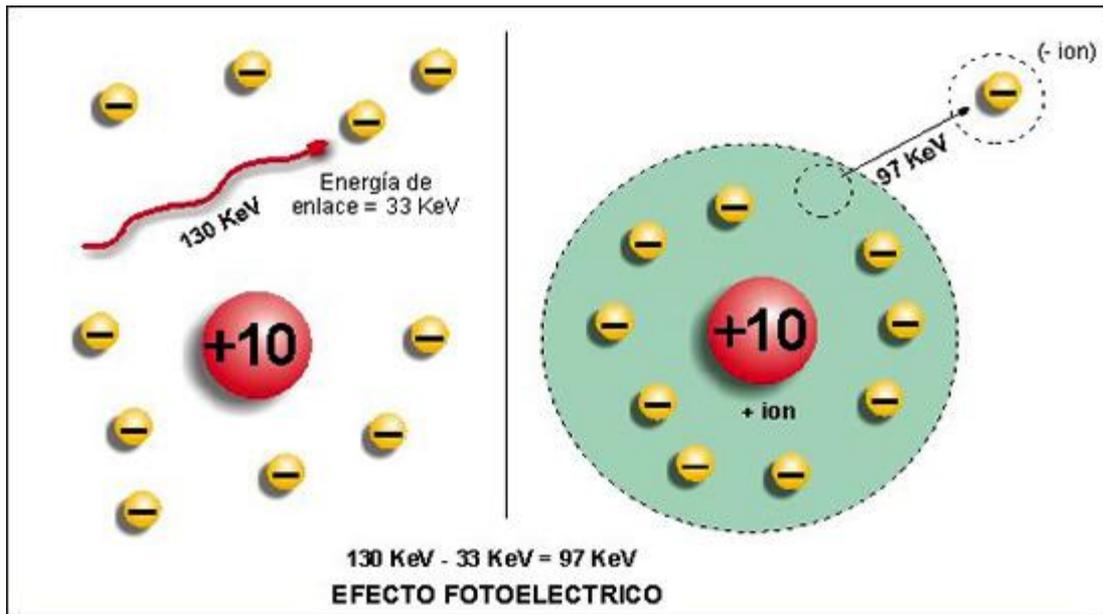


Figura 1: onda longitudinal

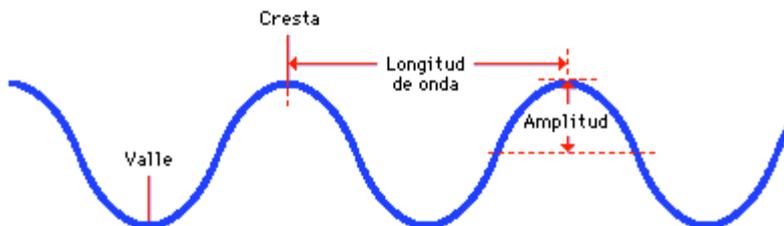
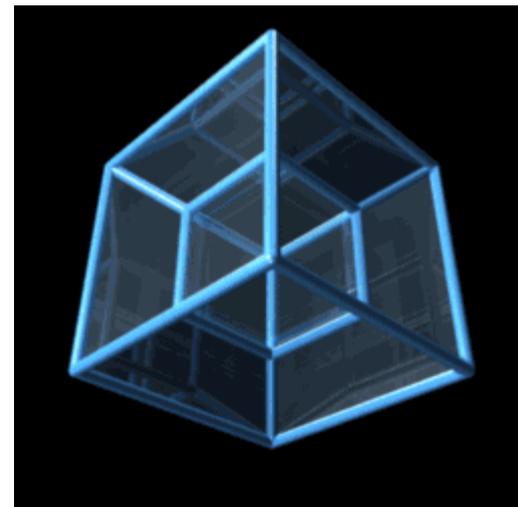
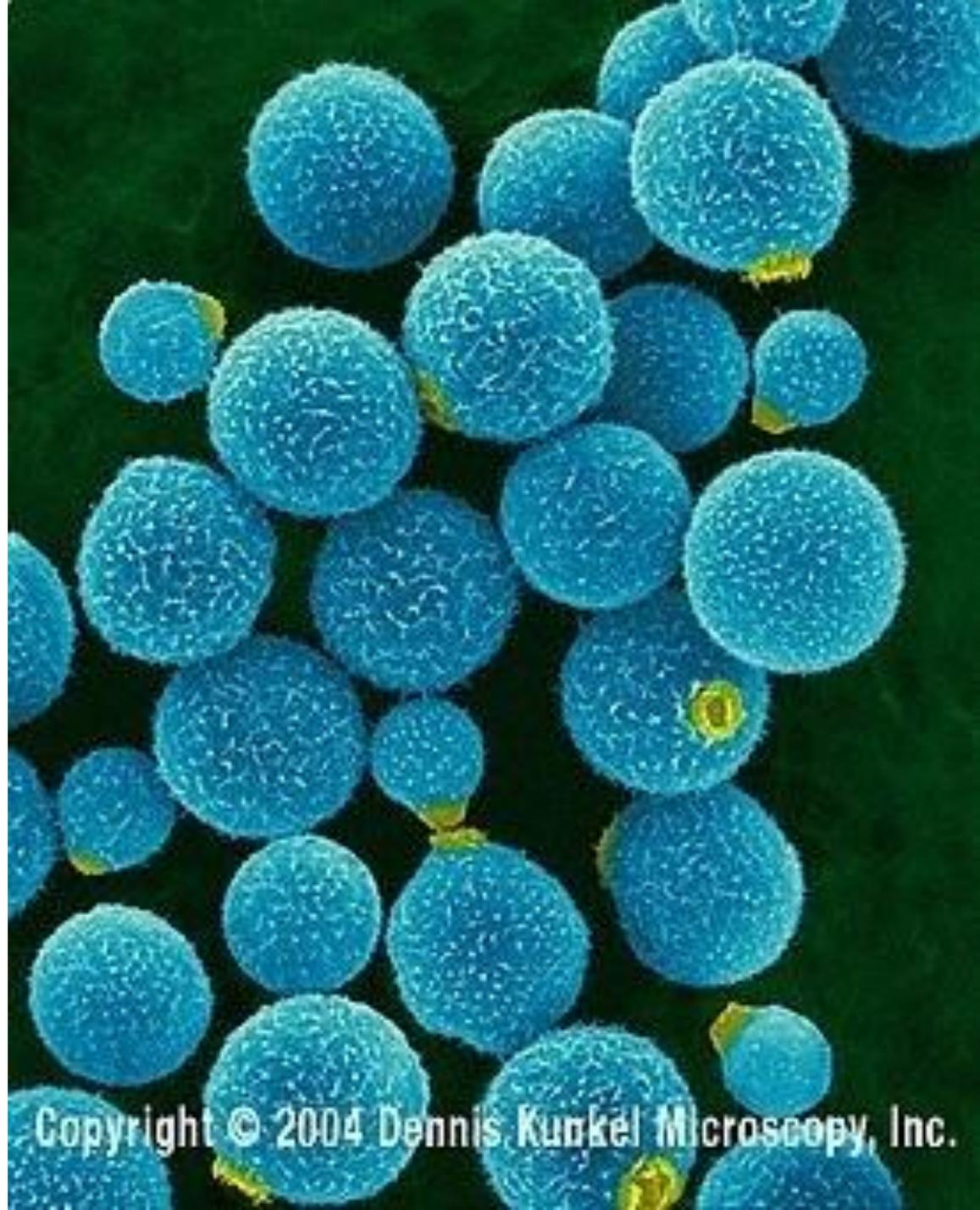


Figura 2: onda transversal

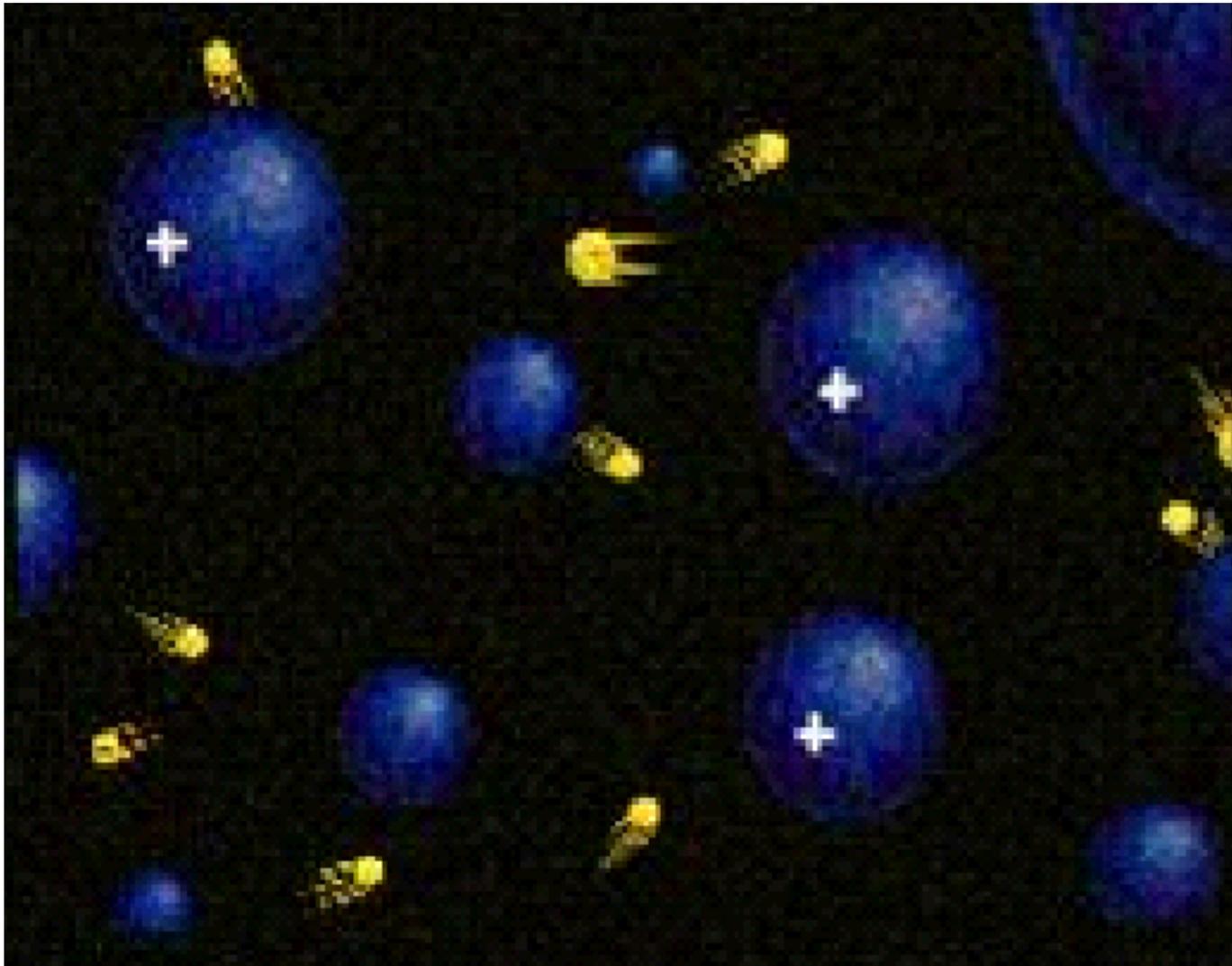




Copyright © 2004 Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

- **El estado de plasma se produce a temperaturas y presiones extremadamente altas.**
- **El plasma es un gas ionizado, esto quiere decir que es una especie de gas donde los átomos o moléculas que lo componen han perdido parte de sus electrones o todos ellos.**

CARACTERÍSTICAS DEL ESTADO DE PLASMA

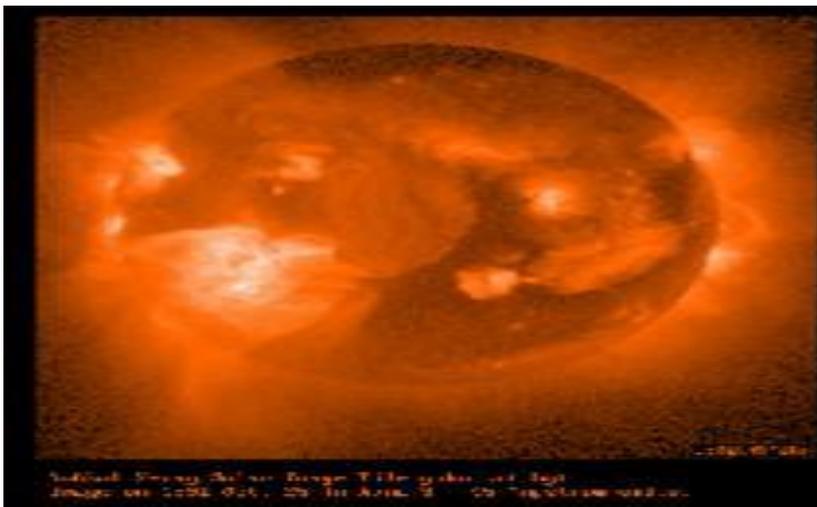


- **Es el más abundante en el Universo.**
- **Aquí la gran cantidad de energía hace que los impactos entre electrones sean tan violentos que se separen del núcleo.**
- **Los plasmas tienen la característica de ser conductores de la electricidad.**

- **El plasma es un estado parecido al gas, pero compuesto por electrones, cationes (iones con carga positiva) y neutrones.**
- **En muchos casos, el estado de plasma se genera por combustión.**
- **Ejemplos de estados de Plasma: el sol, la ionosfera, luces fluorescentes, luces urbanas.**

TIPOS DE PLASMAS

- Plasmas espaciales:
- El viento solar es uno de los plasmas espaciales mayormente conocidos como aurora espacial.



CONDENSADO DE BOSE-EINSTEIN

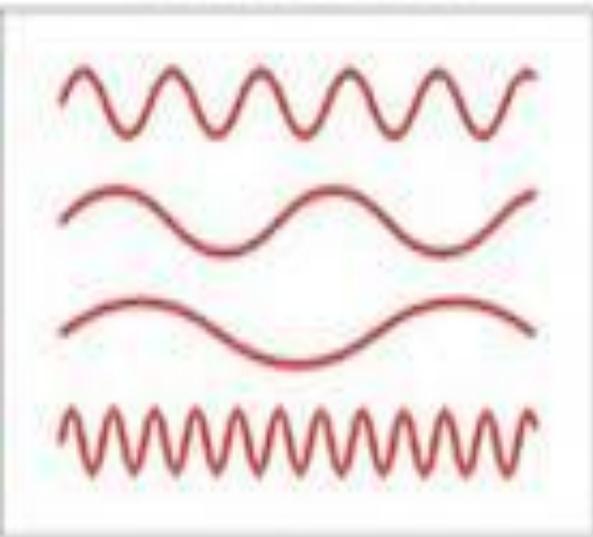
- **En 1920, Santyendra Nath Bose desarrolló una estadística mediante la cual se estudiaba cuándo dos fotones debían ser considerados como iguales o diferentes.**

- **Envió sus estudios a Albert Einstein, con el fin de que le apoyara a publicar su novedoso estudio en la comunidad científica y, además de apoyarle, Einstein aplicó lo desarrollado por Bose a los átomos.**
- **Predijeron en conjunto el quinto estado de la materia en 1924.**

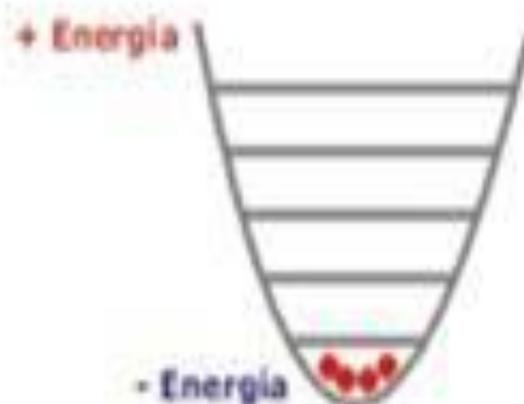
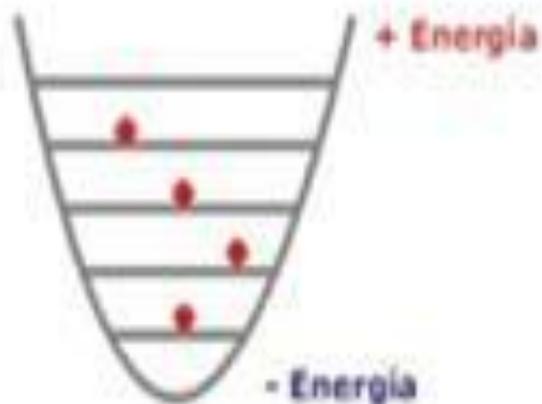
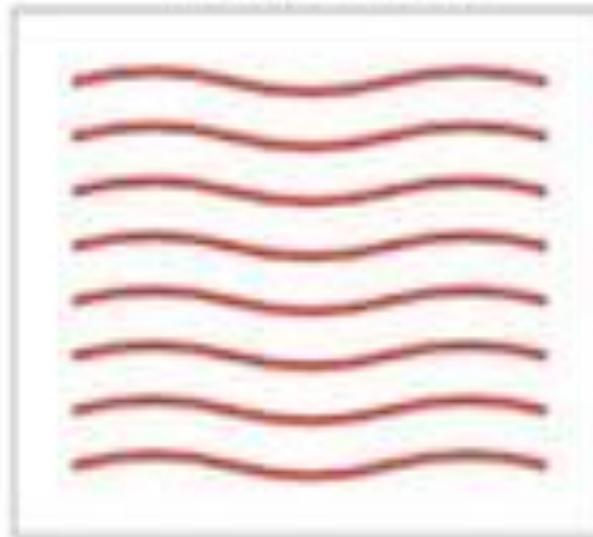
- **Para alcanzar el estado de Bose-Einstein es necesario enfriar muchísimo los átomos, su velocidad disminuye hasta que su longitud de onda se hace tan larga que su onda es casi plana.**

ONDAS BOSE-EINSTEIN

Átomos con diferentes estados de vibración



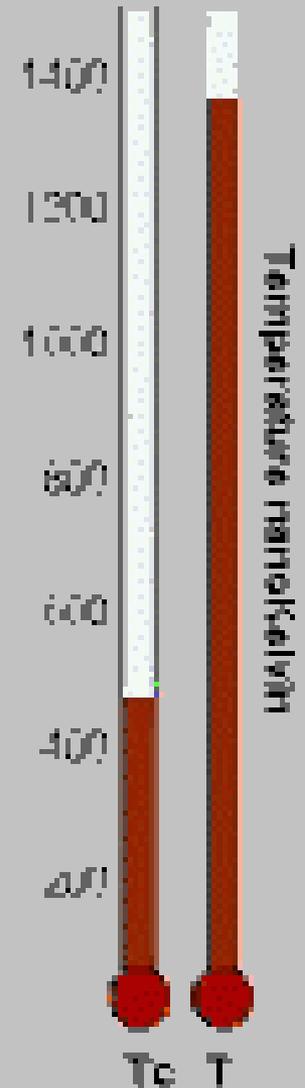
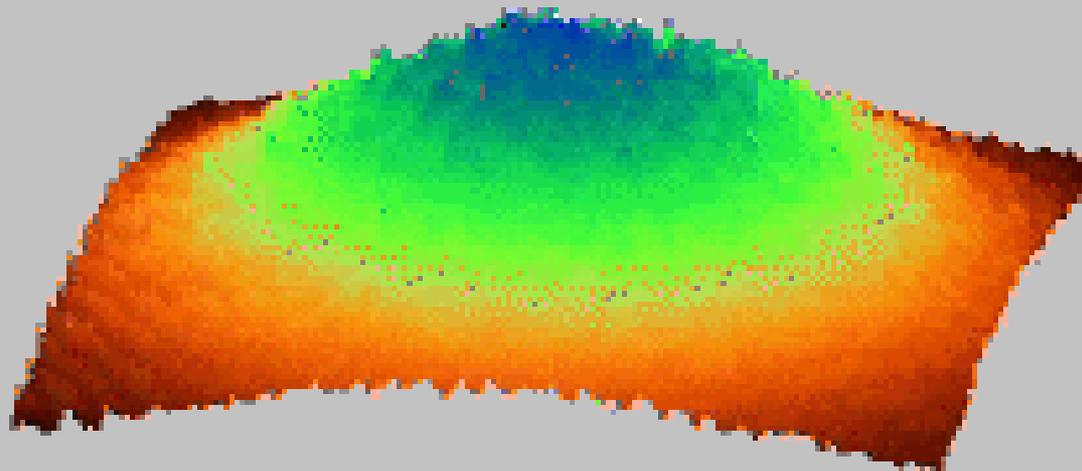
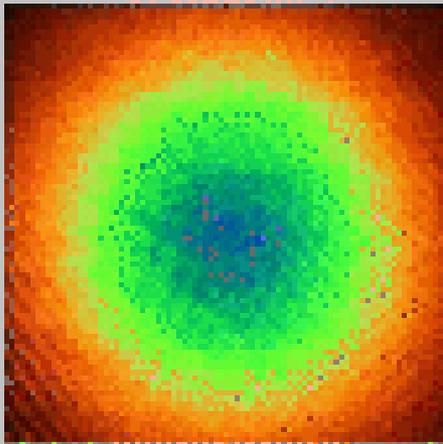
Átomos en Condensado de Bose - Einstein

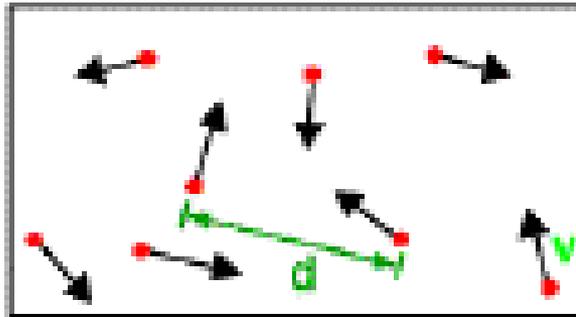


RUBIDIO 87

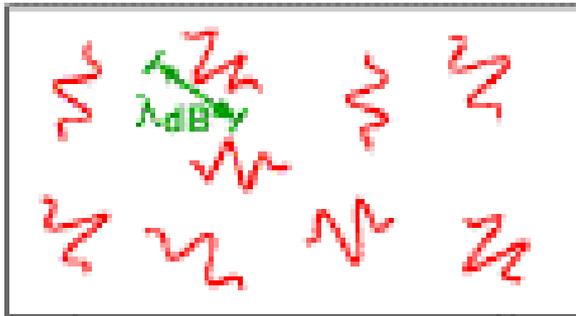
Condensación Bose-Einstein del RB 87

$$h\nu_{\text{BSE}} = 2.1 \mu\text{K} \quad - \quad h\nu_{\text{BSE}} = 2.1 \mu\text{K}^2$$

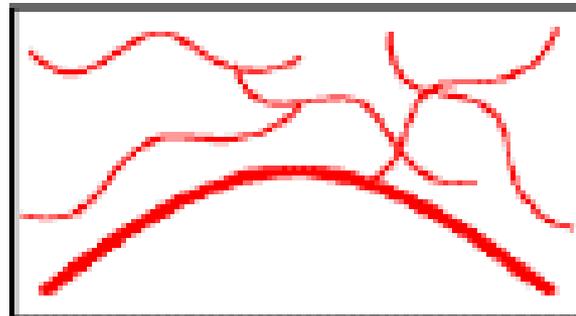




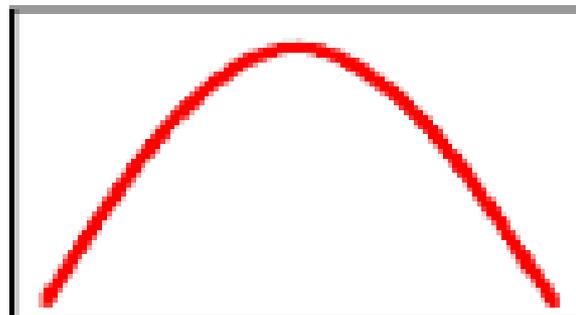
Alta
 Temperature T:
 velocidad térmica v
 densidad d^{-3}
 "Bolas de billar"



Baja
 Temperature T:
 longitud de onda
 de De Broglie
 $\lambda_{dB} = h/mv \propto T^{-1/2}$
 "Paqueta de onda"

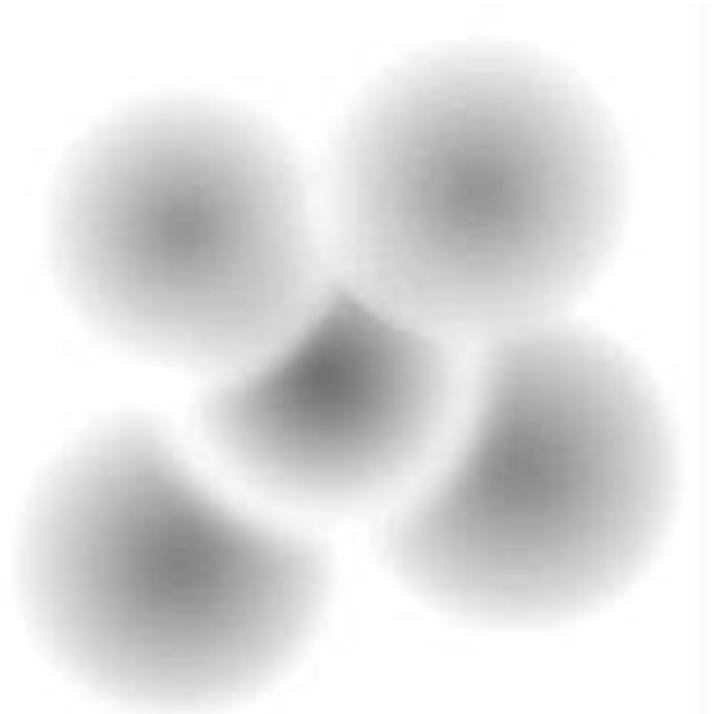


$T = T_{ent}$
 Condensación de
 Bose-Einstein
 $\lambda_{dB} = d$
 "Superposición de
 onda de materia"

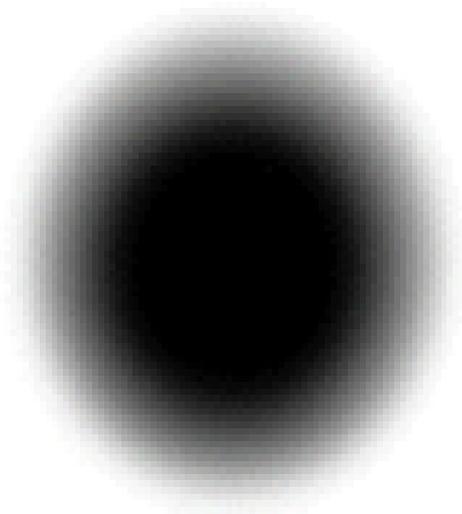


$T = 0$
 Condensado puro
 de Bose
 "Onda gigante de Materia"

- **En este punto, las ondas de todos los átomos enfriados se superponen, formando una única onda y alcanzando el estado de Condensado de Bose-Einstein (BEC).**

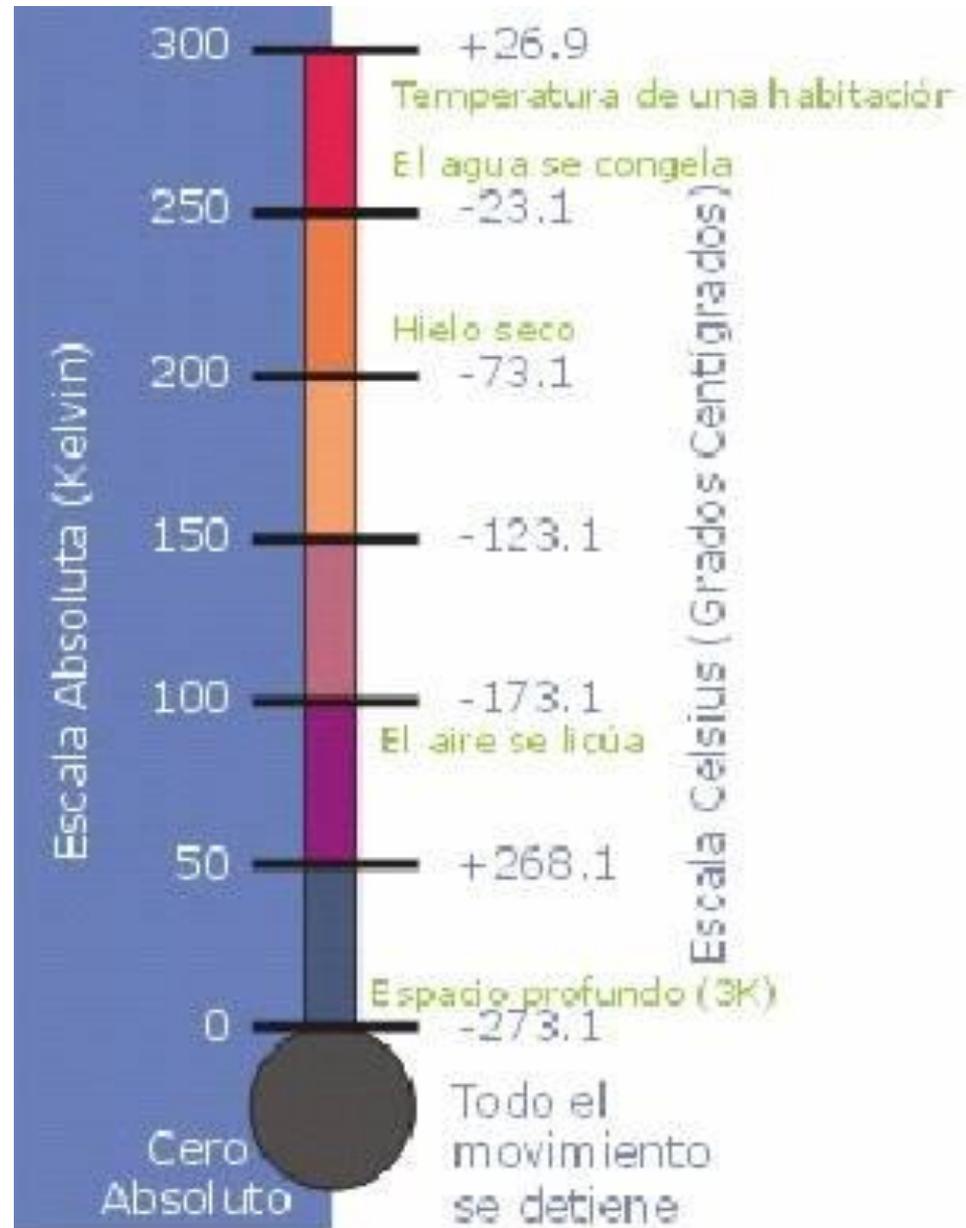


Algunos Átomos muy fríos

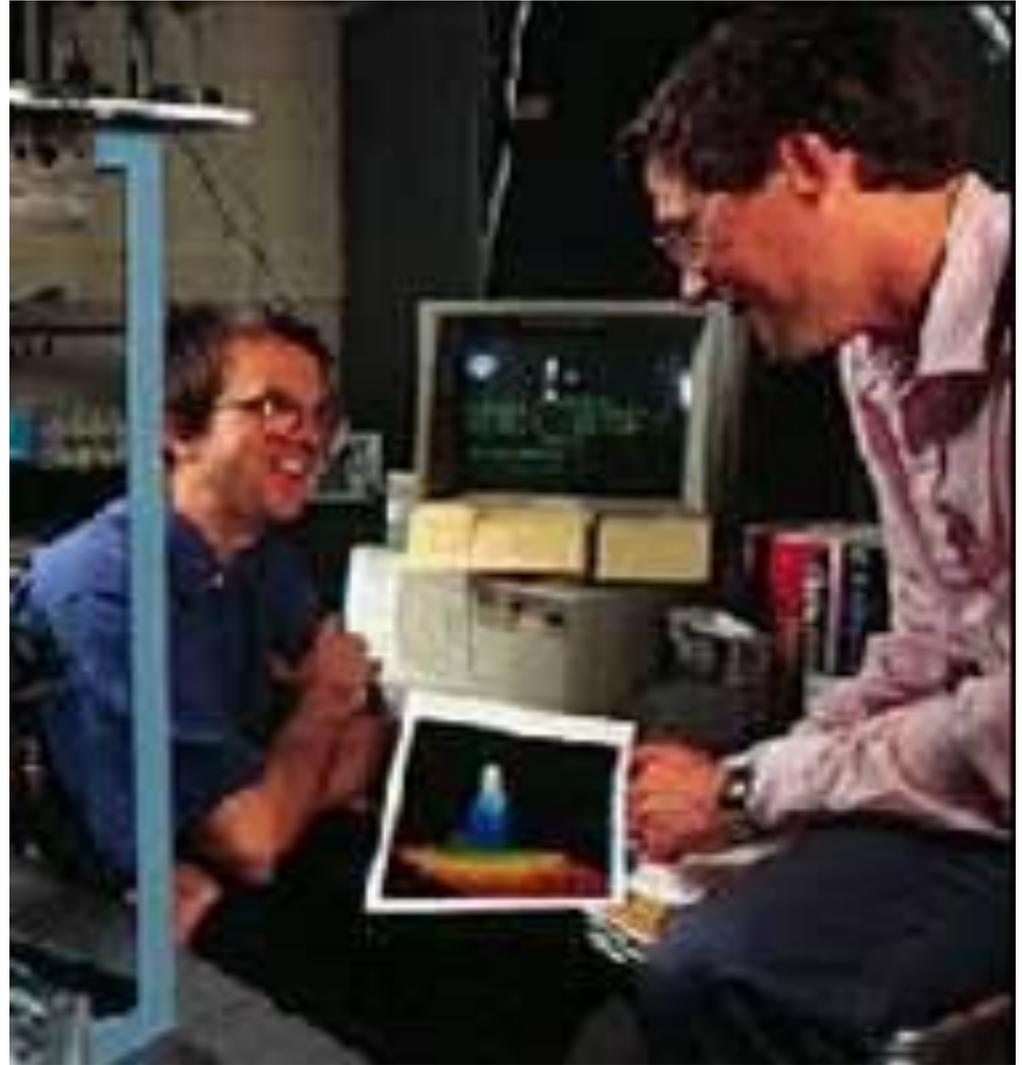


Algunos Átomos en un Condensado BEC

- La temperatura es una medida del movimiento de los átomos de un sistema.
- Si queremos lograr un **Concentrado de Bose-Einstein** debemos hacer descender la temperatura a un valor cercano al **cero absoluto**.

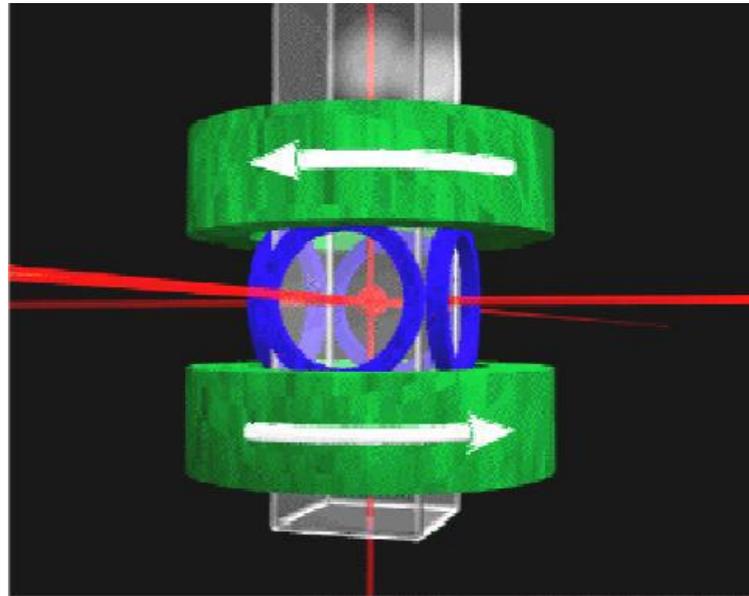


- **Eric Cornell, Wolfgang Ketterle, Carl Wieman, destacados físicos obtuvieron el Premio Nóbel en el 2001.**
- **Comprobaron la teoría del Condensado de Bose-Einstein, construyendo la nevera que era capaz de alcanzar temperaturas cercanas al cero absoluto.**



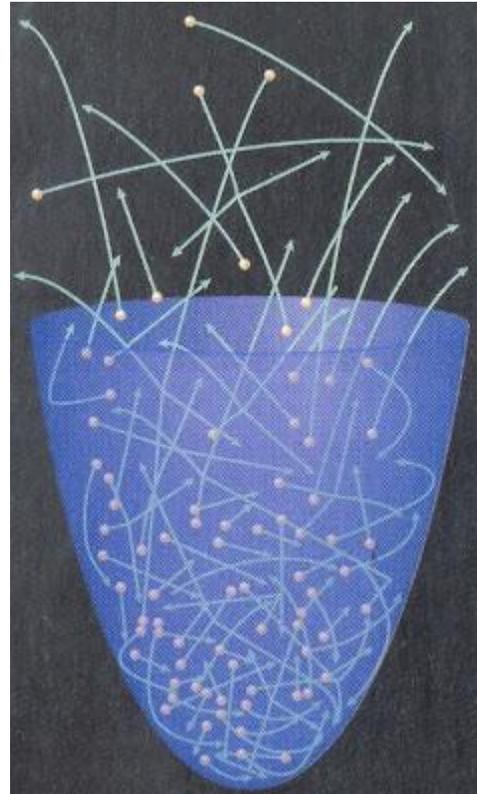


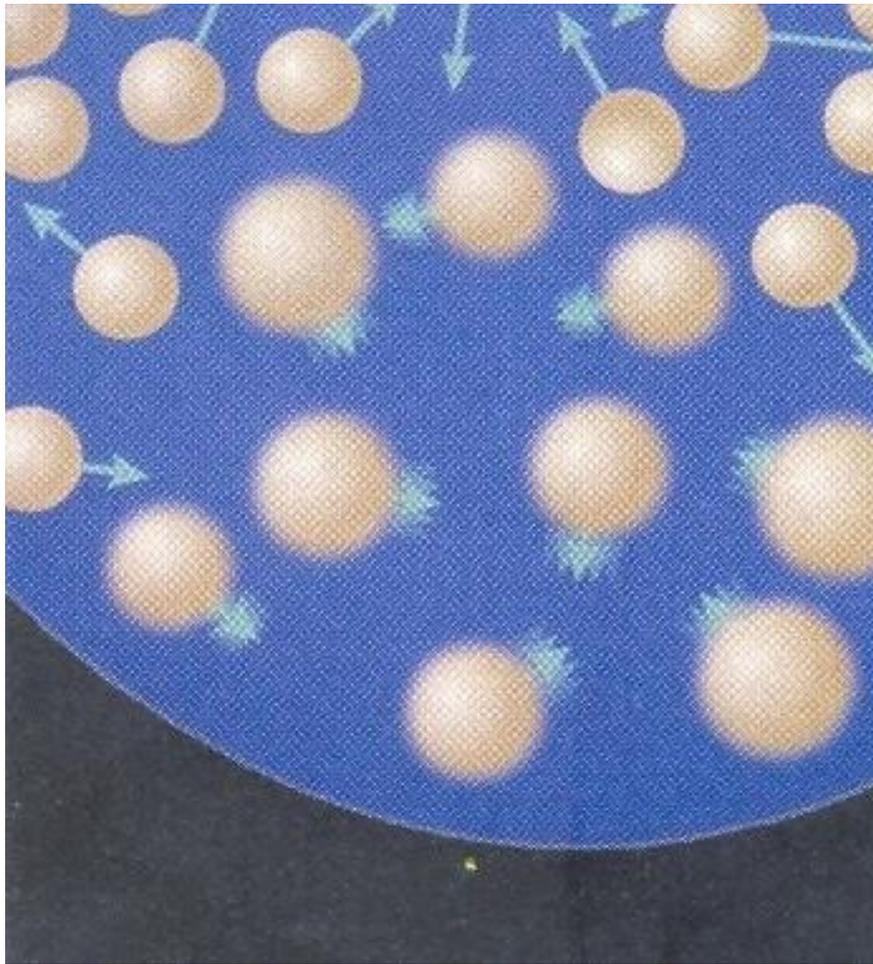
El enfriamiento por láser tiene un límite. Los aproximadamente 10 millones de átomos de rubidio introducidos en la caja están concentrados en la trampa láser y tienen una temperatura muy pequeña, de $40\mu\text{K}$, que sin embargo es cien veces mayor que la necesaria para formar el condensado. De modo que se necesita de una técnica adicional para seguir enfriando el gas.



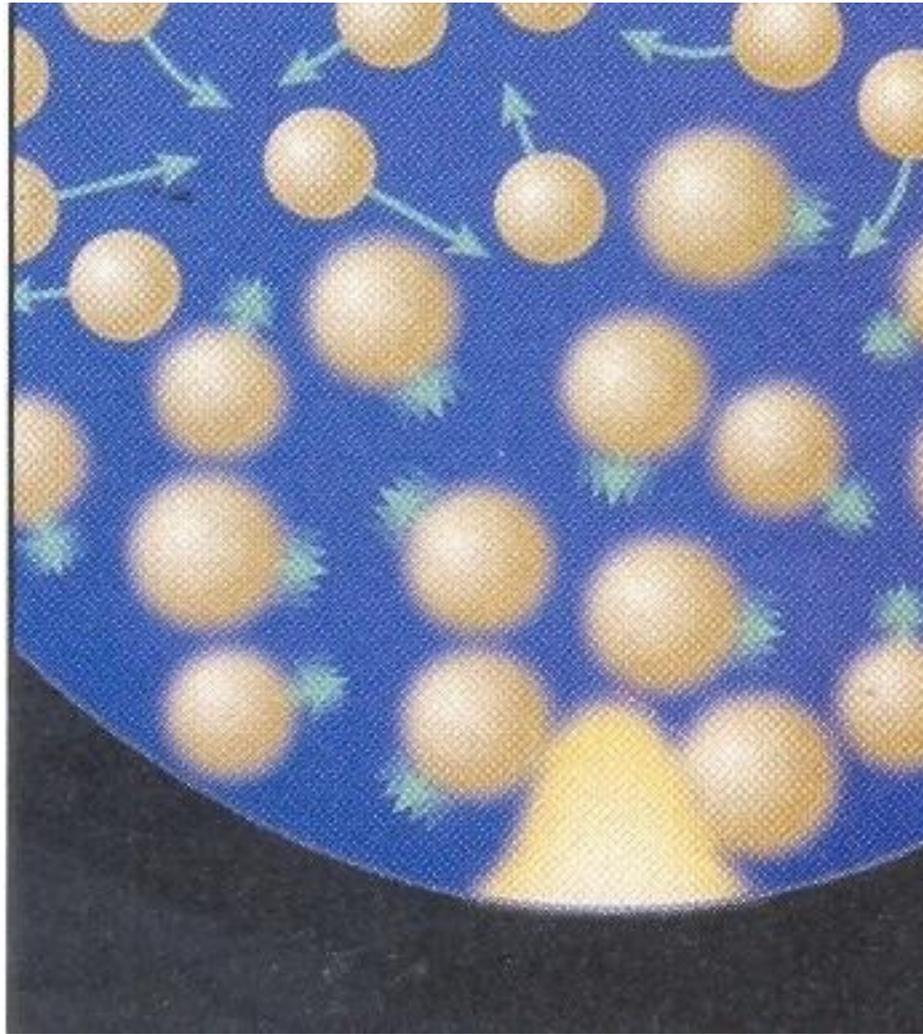
El efecto final es que la mera fuerza de la luz láser empuja los átomos hacia una sola zona y los retiene en ella. Pero después de este proceso los átomos capturados de vapor de rubidio (así fue con los átomos con que Cornell y Wieman lograron su primer condensado) todavía se hallan a unas 40 millonésimas de grado sobre el cero absoluto, una temperatura aún 100 veces demasiado caliente para formar un “condensado de Bose-Einstein”. Hay que comenzar, pues, la segunda fase del enfriamiento: atrapar magnéticamente y “enfriar por evaporación”. La “trampa magnética” aprovecha el hecho de que cada átomo sea un imán minúsculo, sometido, por tanto, a una fuerza cuando se lo pone en un campo magnético. Mediante un control meticuloso de este campo, podemos retener a los átomos.

El “enfriamiento por evaporación” se efectúa en una “trampa magnética”, una especie de cuenco profundo:



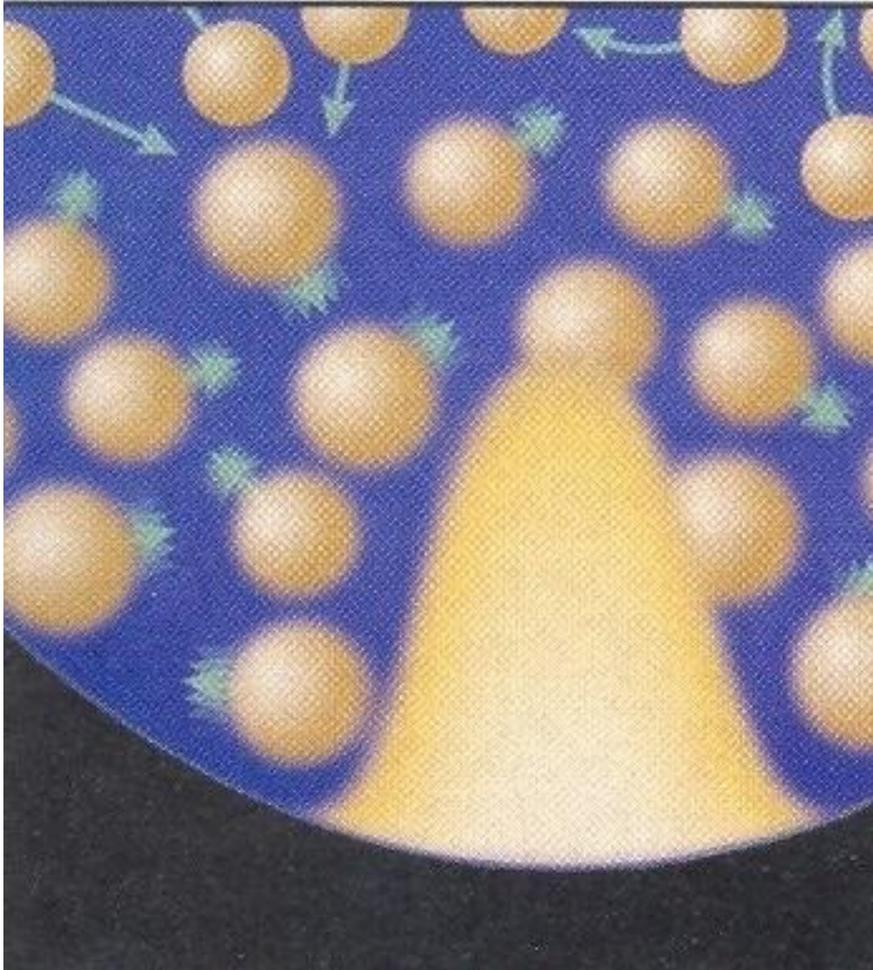


Los átomos de mayor energía, dibujados con las flechas verdes más largas. Los que se quedan chocan entre sí con frecuencia y la energía restante se reparte. Al final los átomos se mueven tan despacio y se aglomeran tan apretadamente en el fondo del cuenco, que su naturaleza cuántica se acentúa.



Por último, chocan dos átomos y uno se queda tan estacionario como permite el “principio de incertidumbre” de Heisenberg.

Se desencadena así una avalancha de átomos que se acumulan en el estado de energía más bajo de la trampa, donde se fusionan creando el “condensado de Bose-Einstein” (en las dos últimas imágenes)



La nube de átomos formada se puede observar mediante una sofisticada tecnología, donde mediante destellos de luz láser se toma una denominada “foto de sombras”. Con ello se puede determinar la distribución de velocidades de los átomos en la nube atrapada del “condensado de Bose-Einstein”. La medición de la velocidad nos da la temperatura de la muestra.

En la representación gráfica de la distribución de velocidades, el “condensado aparece como un pico” con forma de “aleta dorsal”. Los átomos del “condensado” tienen la menor velocidad posible y permanecen por eso, una vez se ha expandido la nube en un denso cúmulo situado en el centro de esta “aleta”.

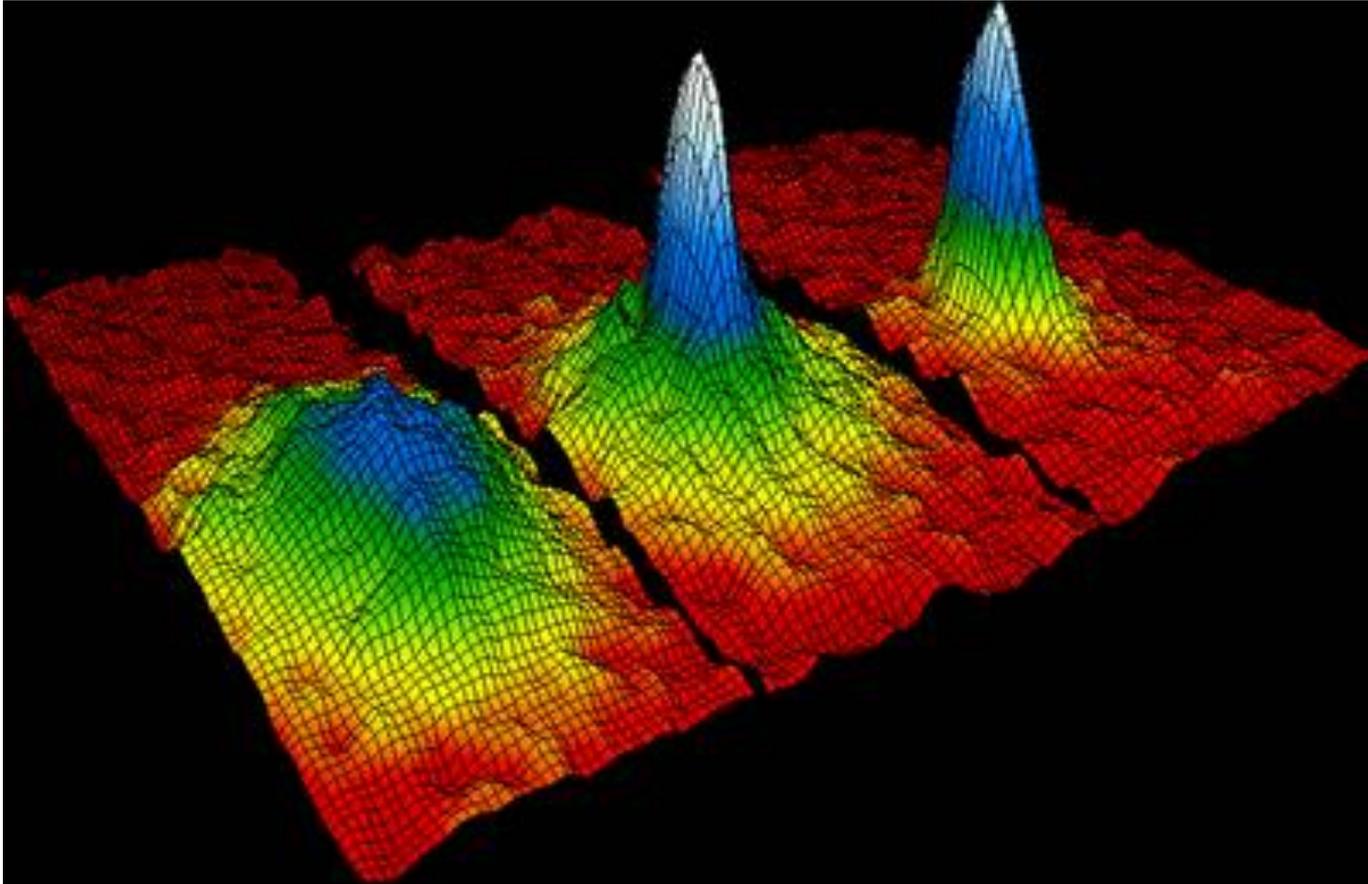


Figura icónica de la física cuántica: Distribución de velocidades atómicas en la nube fría de un “condensado de Bose-Einstein”

Características del estado de Bose--Einstein:

1. Los átomos están congelados, todo lo quietos que permiten las leyes de la mecánica cuántica. La interacción entre ellos es muy débil y entonces puede estudiarse el efecto que tiene sobre ellos la gravedad. Los resultados muestran que estos átomos se caen como si fueran una roca (a escala atómica), pero siguen siendo un gas!! Se comportan como un sólido, pero no lo son... Por eso a veces al estado de CBE* se le ha denominado hielo cuántico.



*condensado de
Bose-Einstein*

2. Los átomos son coherentes, forman una única onda, como la luz láser. Los átomos del CBE son a los normales como la luz láser a la de una bombilla casera.

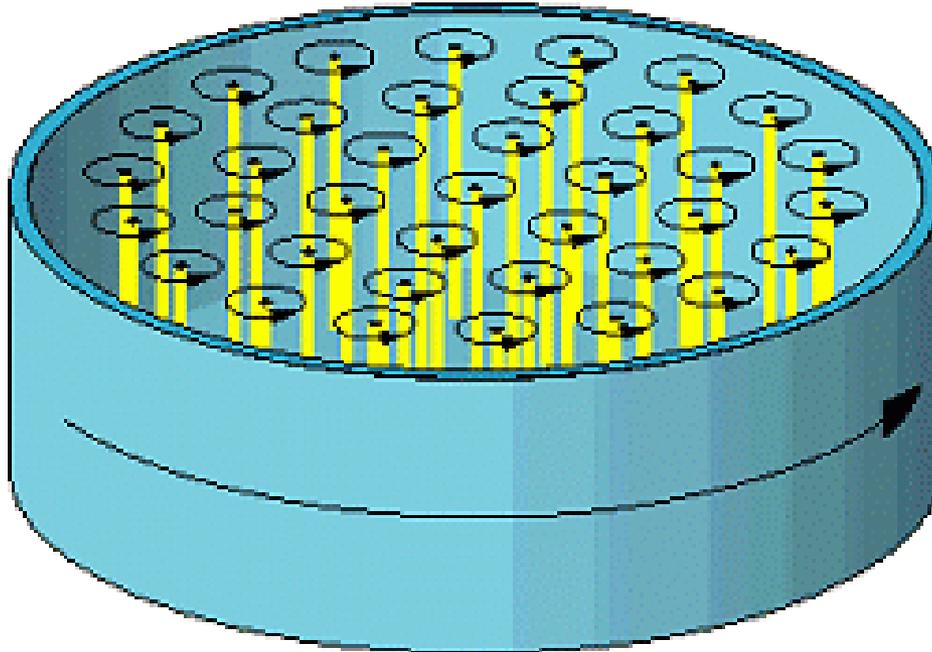
3. Un grupo de átomos en CBE se comporta muy extrañamente ante la interacción con otro grupo de átomos diferente también en estado de CBE. Cuando se ponen 2 átomos normales uno encima del otro, se obtiene el doble de átomos. Hasta aquí, bien. Pero si se coloca un condensado de Bose-Einstein encima de otro, deja de haber átomos en esa región

Todas estas propiedades de la materia y otras en estado de CBE siguen siendo estudiadas. Actualmente existen en el mundo veinte grupos experimentales con capacidad para crear y manipular condensados de Bose-Einstein. Ya veremos qué nos depara todo esto. Se ve como una pequeña masa en el fondo de una trampa magnética. Como una gota de agua que se condensa cuando se enfría el aire.

Los tamaños obtenidos de CBE más grandes son del tamaño de una pepita de melón. En la generación de un condensado de Bose-Einstein, como aún suele haber átomos normales alrededor, el condensado suele mostrarse como si fuera la semilla dentro de una cereza.

En la primera imagen podemos apreciar como están los átomos en el estado de Condensado de Bose-Einstein.

** CBE: Condensado de Bose-Einstein*



Bose and Einstein

Let us go back to the photon statistics formula derived by Bose. There is a factor "2" sitting on the numerator of this formula. The usual explanation is that it is because photons are massless particles. Then why not 1 or 3 ? Bose argued that the photon can have two degenerate states. This eventually led to the concept of photon spin parallel or anti-parallel to the momentum.

$$\frac{2}{e^{2\pi f/kT} - 1}$$

Statistics of Photons

The distribution function,
or probability that a
particle is in energy state E

$$n(E)\Delta E = g(E)f(E)\Delta E$$

Number of particles
per unit volume with
energy between
E and E + ΔE .

Density of states,
or number of
energy states per
unit volume in
the interval ΔE

Energy
interval

The Bose-Einstein Distribution

The Bose-Einstein distribution describes the statistical behavior of integer spin particles (bosons). At low temperatures, bosons can behave very differently than fermions because an unlimited number of them can collect into the same energy state, a phenomenon called "condensation".

$$f(E) = \frac{1}{Ae^{E/kT} - 1}$$

Explain the symbols

Bose-Einstein Details

The probability that a particle will have energy E

Describing integer spin bosons, this distribution allows an unlimited number of particles to condense into a single level.

$$f(E) = \frac{1}{Ae^{E/kT} - 1}$$

Bose-Einstein

For photons, $A=1$, so the occupation of very low energy states can increase without limit.

The quantum difference which arises from the fact that the particles are indistinguishable.

The exponential dependence upon energy and temperature. See the classical Boltzmann distribution for more description.

[The Bose-Einstein distribution.](#)

The Energy Distribution Function

The distribution function $f(E)$ is the probability that a particle is in energy state E . The distribution function is a generalization of the ideas of discrete probability to the case where energy can be treated as a continuous variable. Three distinctly different distribution functions are found in nature. The term A in the denominator of each distribution is a normalization term which may change with temperature.

Maxwell-Boltzmann
(classical)

$$f(E) = \frac{1}{Ae^{E/kT}}$$

Identical but distinguishable particles.

Bose-Einstein
(quantum)

$$f(E) = \frac{1}{Ae^{E/kT} - 1}$$

Identical indistinguishable particles with integer spin (bosons).

Fermi-Dirac
(quantum)

$$f(E) = \frac{1}{Ae^{E/kT} + 1}$$

Identical indistinguishable particles with half-integer spin (fermions).

EL ESTADO FERMIONICO

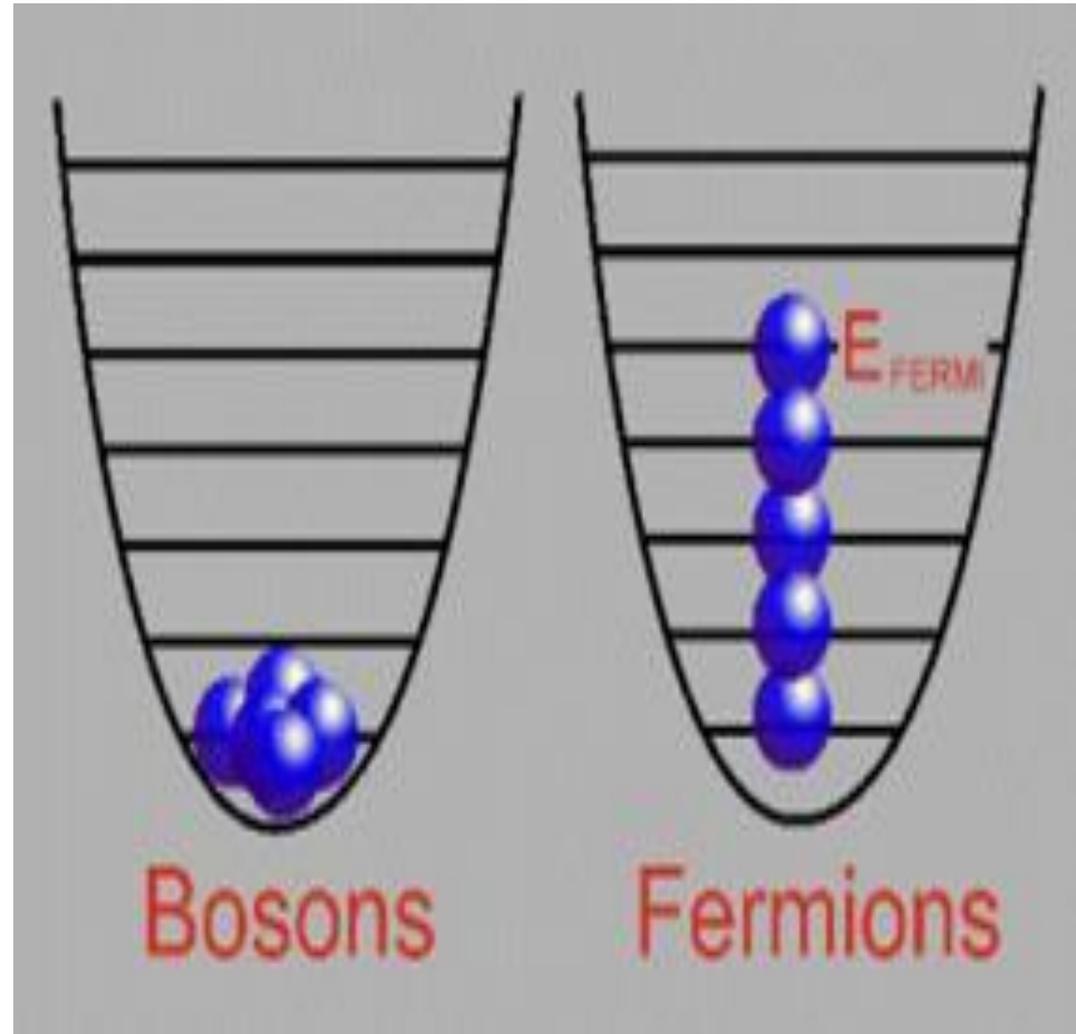
- **La NASA ha descubierto una extraña nueva fase de la materia, en donde se habría encontrado un sexto estado de la materia llamado Condensado Fermionico.**
- **La investigadora de la NASA Deborah Jin creó la sustancia enfriando una nube de 500.000 átomos de potasio-40 hasta menos de una millonésima de grado sobre el cero absoluto.**

- **Los condensados fermiónicos están relacionados con los Bose-Einstein.**
- **Ambos están compuestos de átomos que se unen a bajas temperaturas para formar un objeto único.**
- **En un Bose-Einstein, los átomos son bosones.**
- **En un condensado fermiónico los átomos son fermiones.**

DIFERENCIA ENTRE LOS CONDENSADOS DE BOSE-EINSTEIN Y FERMIONICO

- Los bosones son interactuante, pueden unirse a otros átomos.**
- Como regla general, cualquier átomo con un número par de electrones + protones + neutrones es un bosón.**
- Así, por ejemplo, los átomos del sodio ordinario son bosones, y pueden unirse para formar condensados Bose-Einstein.**

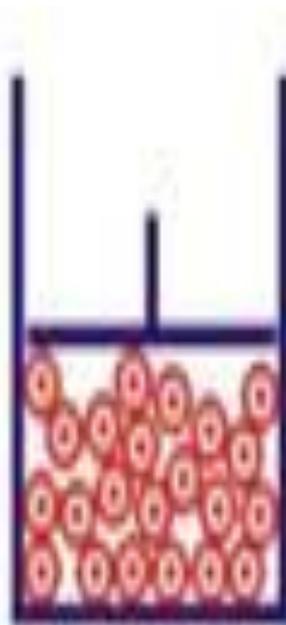
- Los fermiones, por otro lado, son poco interactuantes.
- Cualquier átomo con un número impar de electrones + protones + neutrones, como el potasio-40, es un fermión.



LOS CINCO ESTADOS DE LA MATERIA



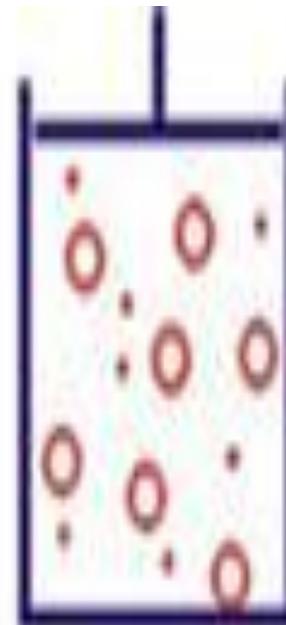
Sólido



Líquido



Gas

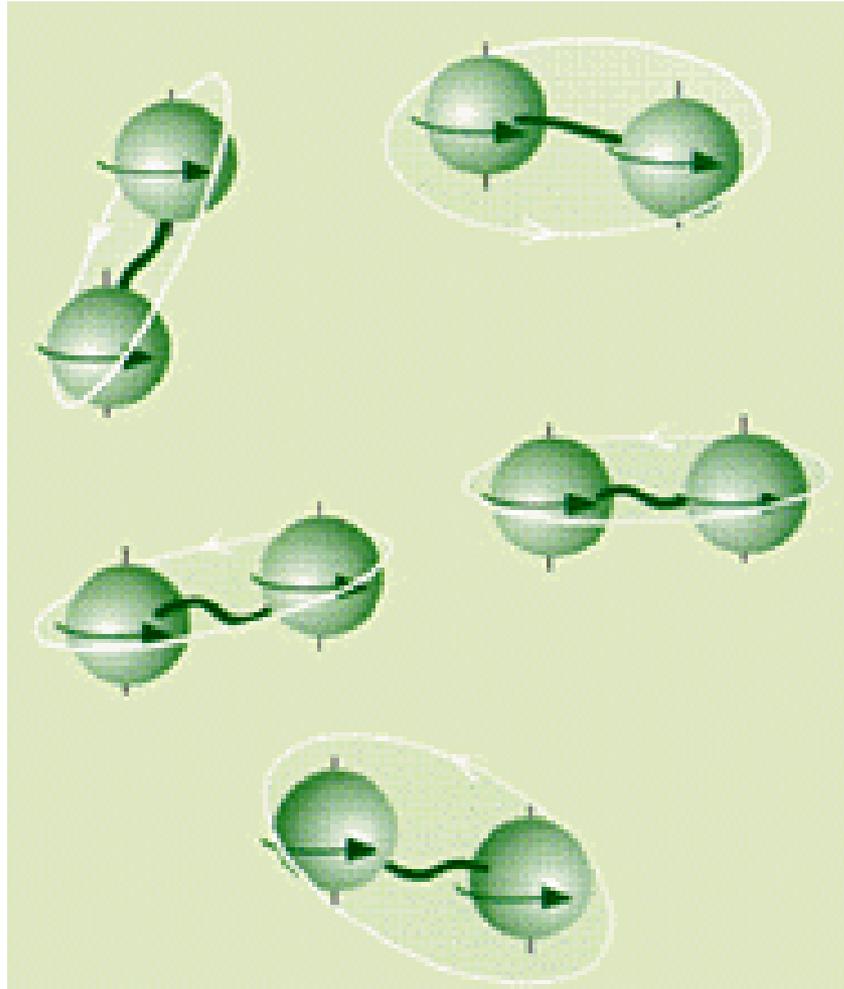


Plasma

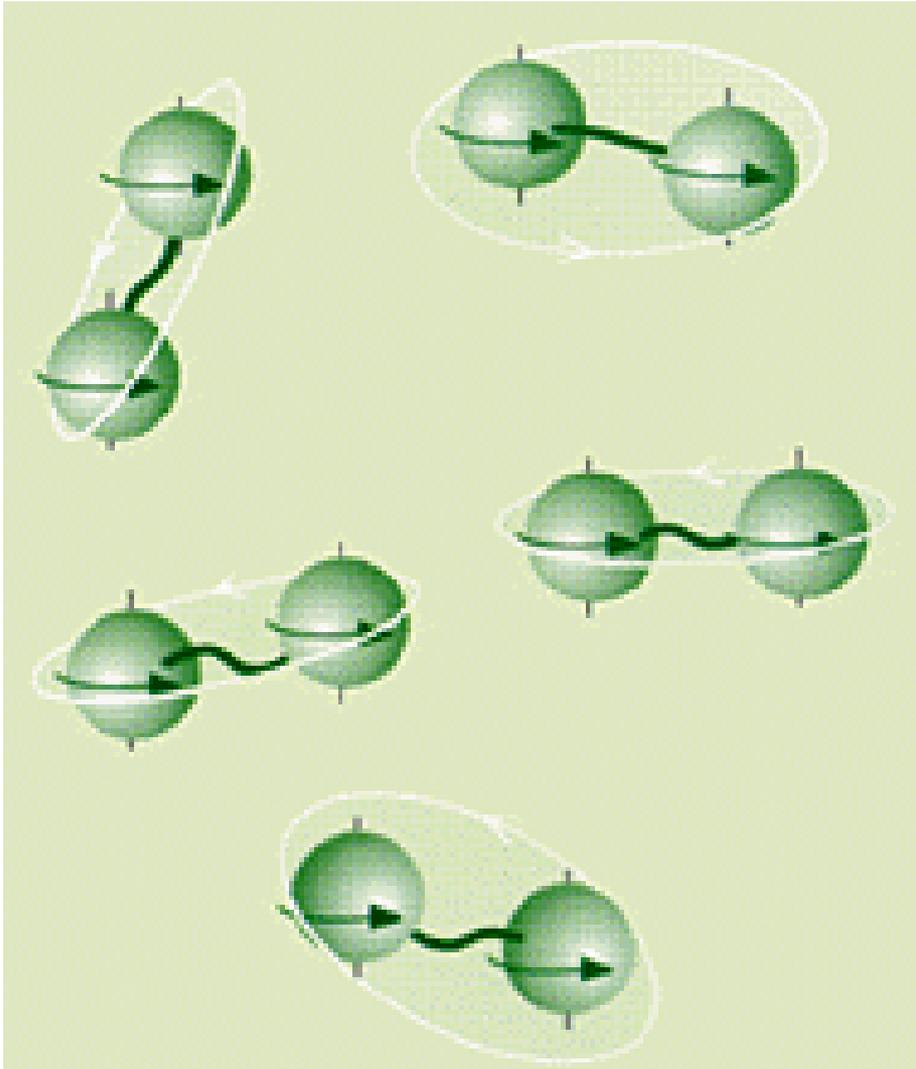


Condensado
Bose-Einstein

Pares de fermiones para Condensado Bose-Einstein Fermiónico

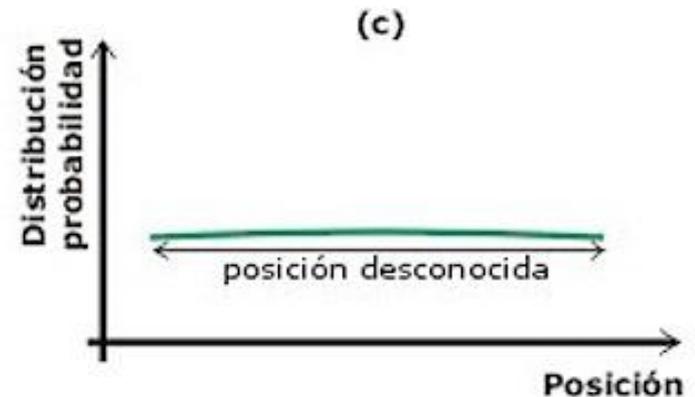
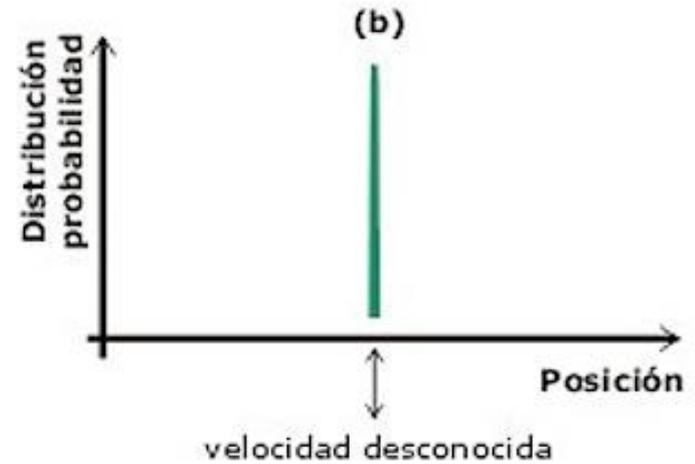
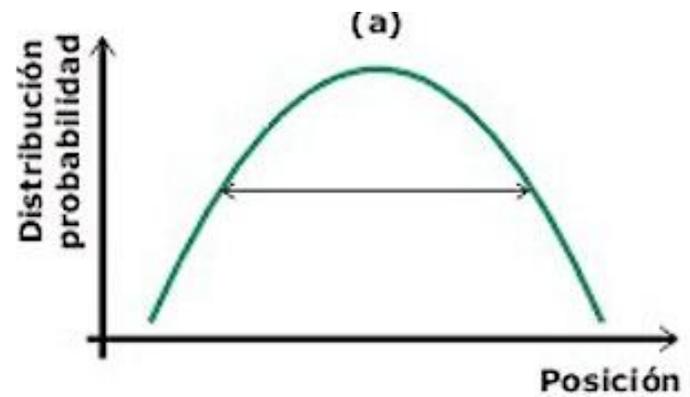


Es como una nube de átomos de potasio, congelados a una temperatura de una billonésima de grados kelvin (10^{-6} o 0,000 001 K).

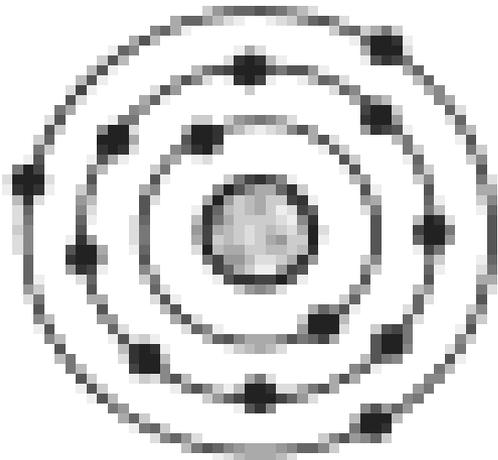


Los pares de fermiones pueden unirse y actuar como bosones. En este diagrama, los espines de las partículas emparejadas están alineados. En el trabajo de Jin, son opuestos.

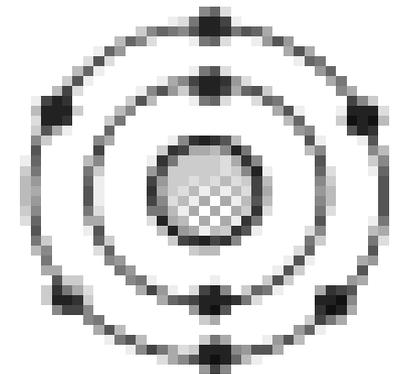
Los condensados pueden tener algunas características muy peculiares. Por ejemplo, la Superconductividad



Estructura de los átomos



Aluminum atom
valence of 3

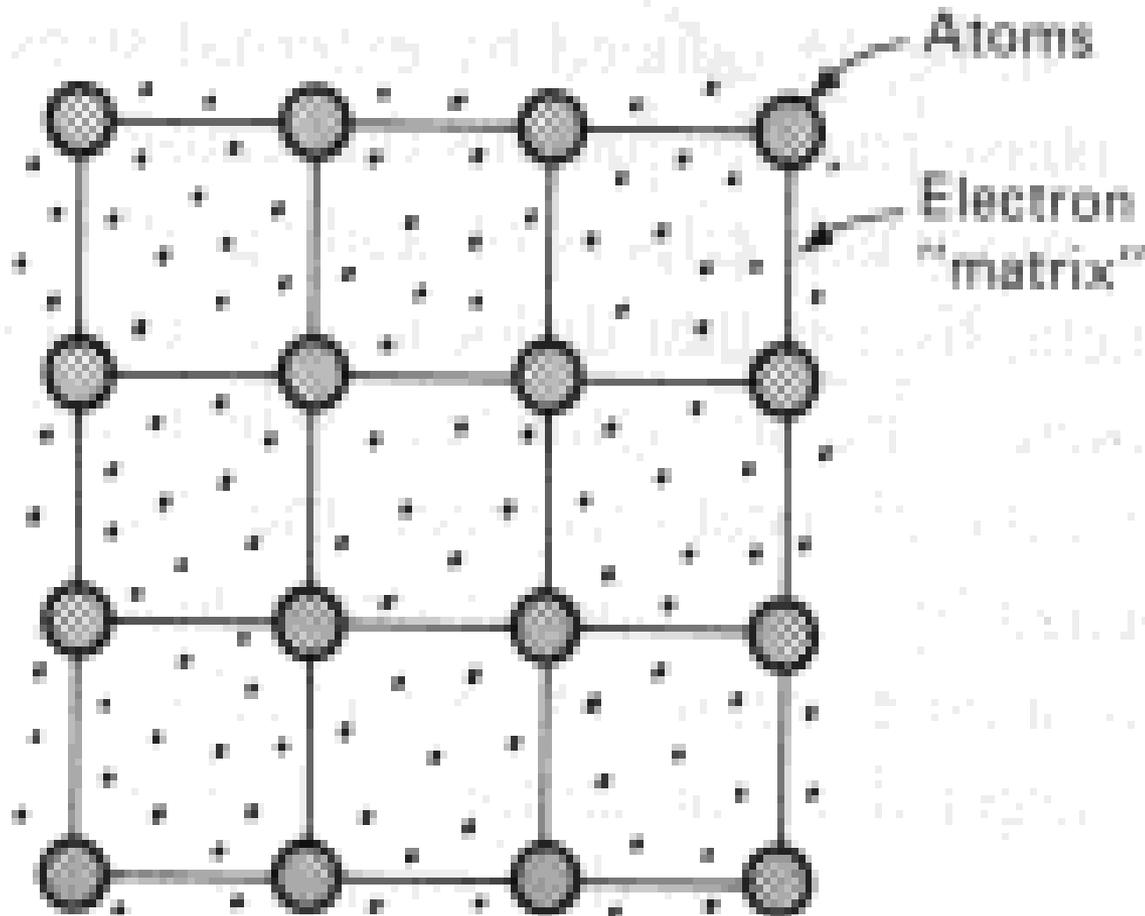


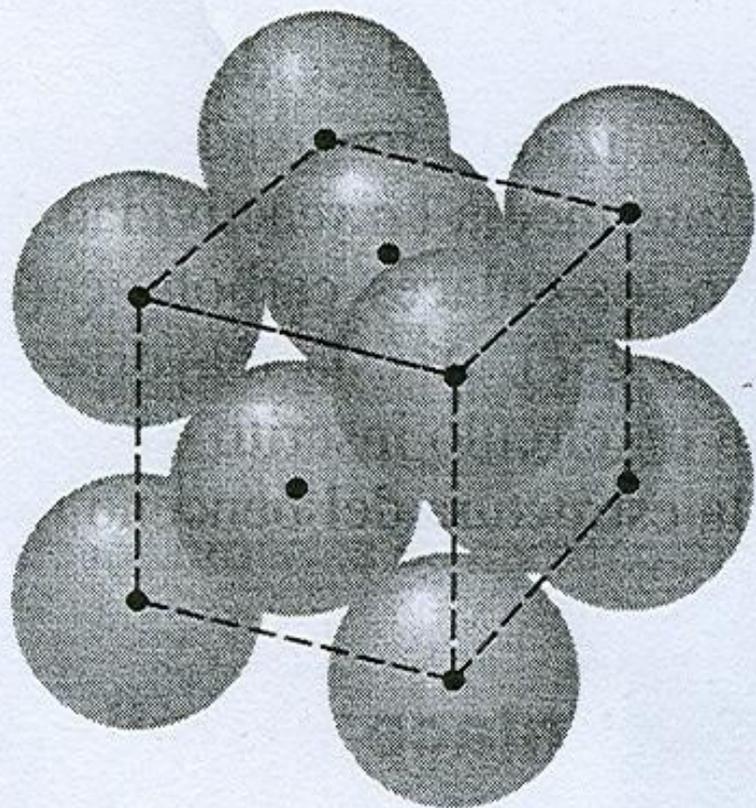
Oxygen atom
valence of 6

Uniones de los átomos

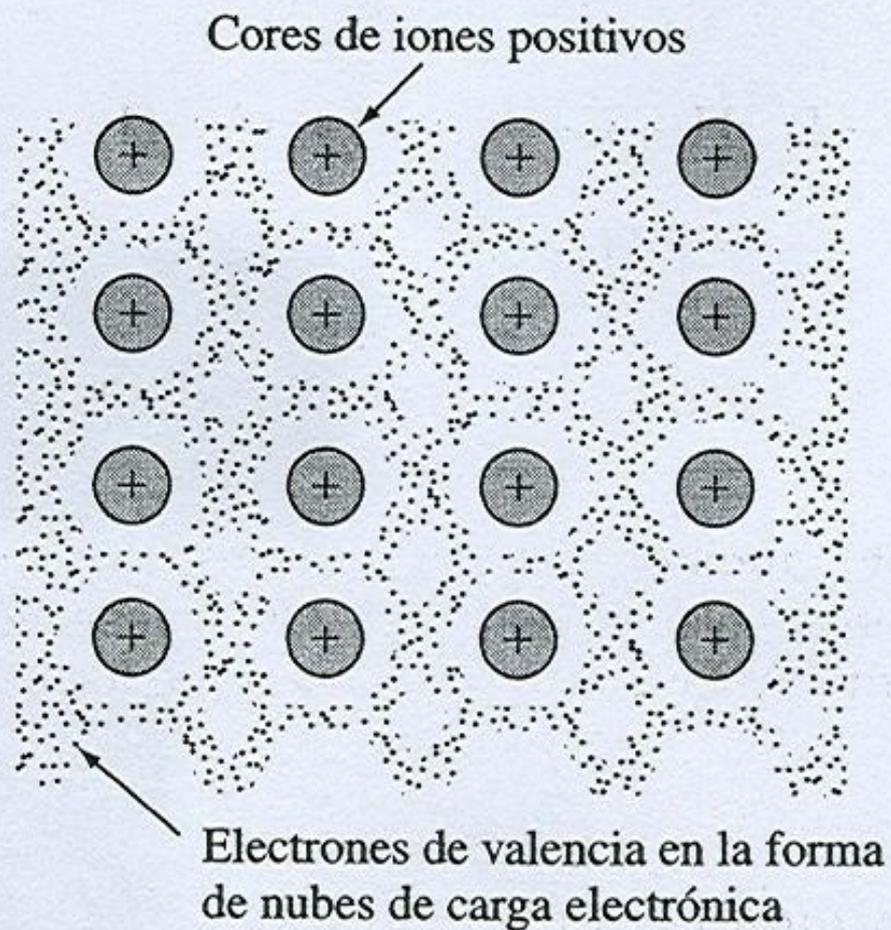
- **Uniones primarias:**
 - Metálicas
 - Iónicas
 - Covalentes
- **Uniones secundarias:**
 - Fuerzas de Van der Waals (uniones eléctricas o polares)

Uniones atómicas metálicas

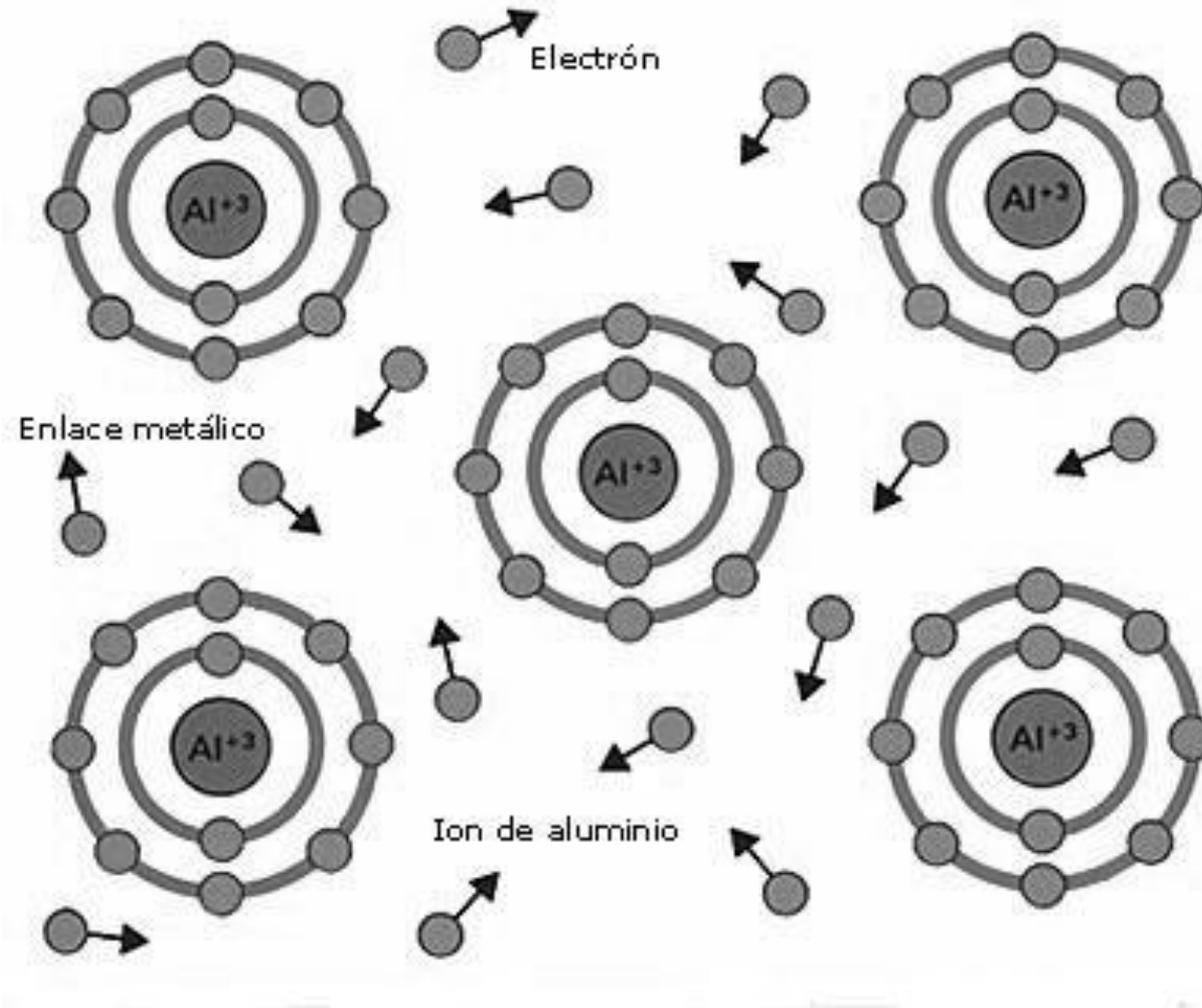




a)

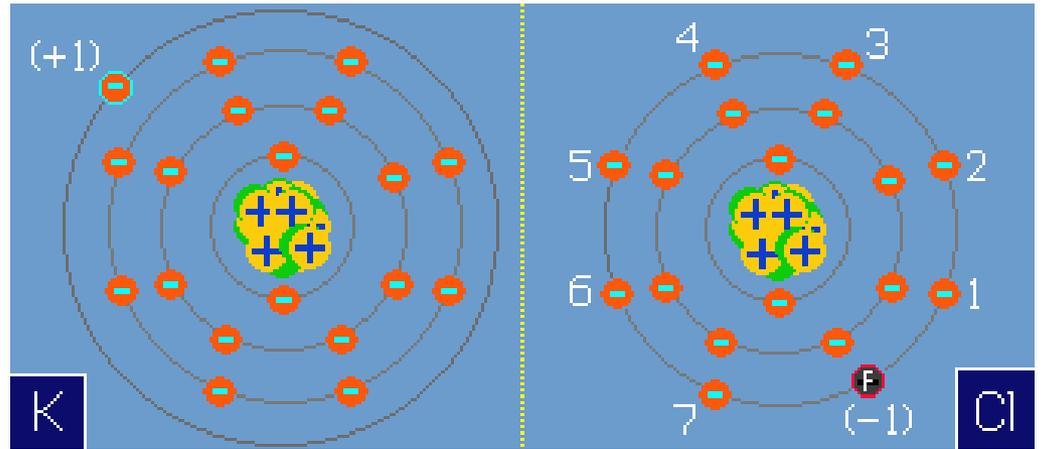
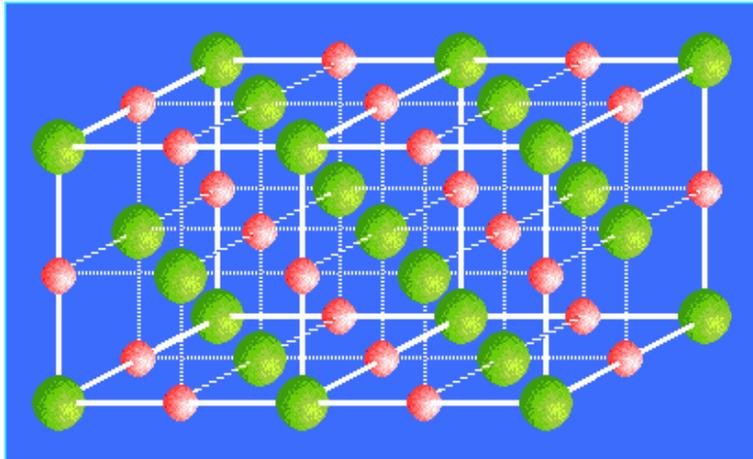
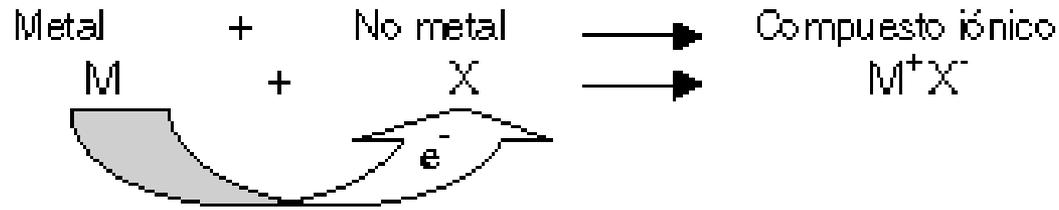


b)



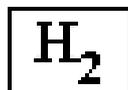
Modelo descriptivo del enlace metálico. Los iones positivos del metal forman una red que se mantiene unida gracias a la nube de electrones que los envuelven.

Uniones iónicas

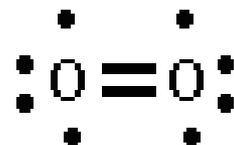
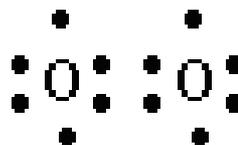


Tipos de Enlaces Covalentes:

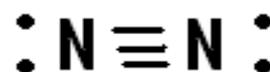
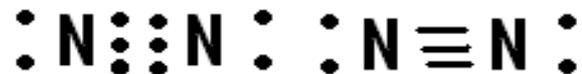
Enlace covalente simple



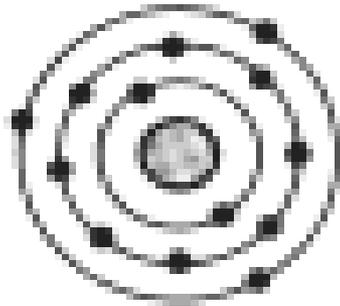
Enlace covalente doble:



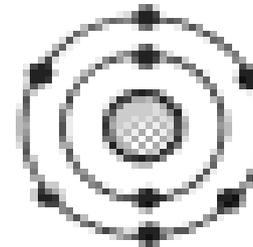
Enlace covalente triple:



Unión iónica/covalente de la alumina (Al_2O_3)



Aluminum atom
valence of 3



Oxygen atom
valence of 6

