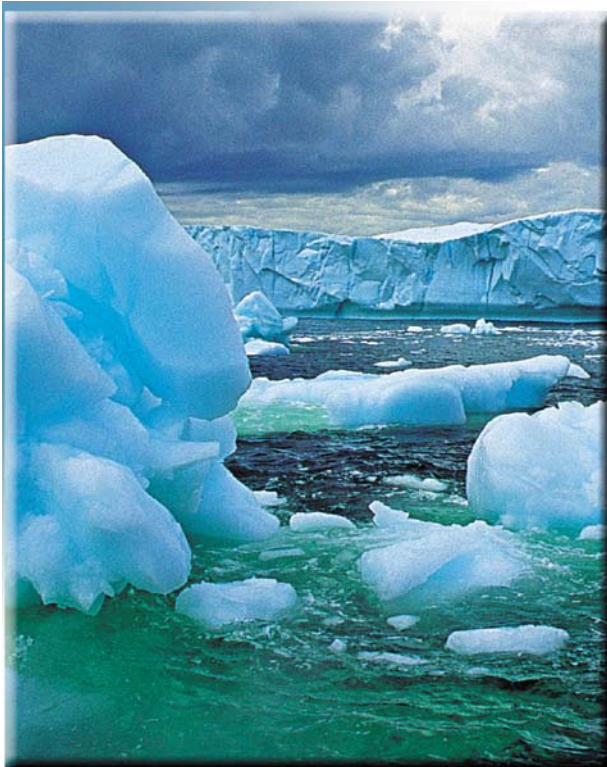




Fuerzas intermoleculares y líquidos y sólidos

Capítulo 11

Una fase es la parte homogénea de un sistema en contacto con otras partes del sistema pero separadas por una barrera bien definida.

2 Fases

Fase sólida - hielo

Fase líquida - agua

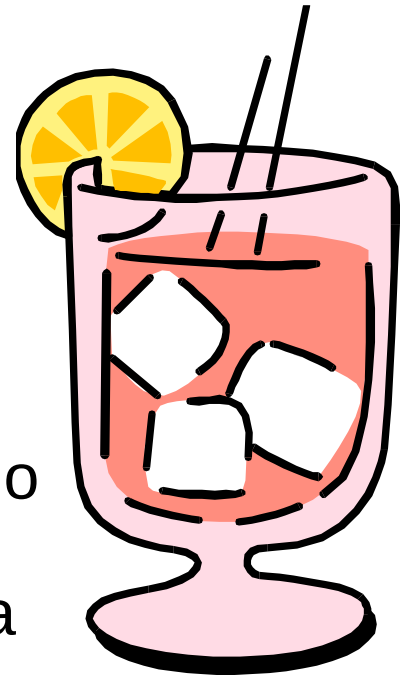


TABLE 11.1 Characteristic Properties of Gases, Liquids, and Solids

State of Matter	Volume/Shape	Density	Compressibility	Motion of Molecules
Gas	Assumes the volume and shape of its container	Low	Very compressible	Very free motion
Liquid	Has a definite volume but assumes the shape of its container	High	Only slightly compressible	Slide past one another freely
Solid	Has a definite volume and shape	High	Virtually incompressible	Vibrate about fixed positions

Fuerzas intermoleculares

Las **fuerzas intermoleculares** son las fuerzas de atracción que existen **entre** las moléculas.

Las **fuerzas intramoleculares** mantienen juntos los átomos de una molécula.

Intermolecular vs intramolecular

- 41 kJ para vaporizar 1 mol de agua (**intermolecular**)
- 930 kJ para romper todos los enlaces O-H en 1 mol de agua (**intramolecular**)



Generalmente, las “Medidas” de fuerzas intermoleculares son mucho más débiles que las fuerzas intramoleculares.

punto de ebullición
punto de fusión

$$\Delta H_{\text{vap}}$$

$$\Delta H_{\text{fus}}$$

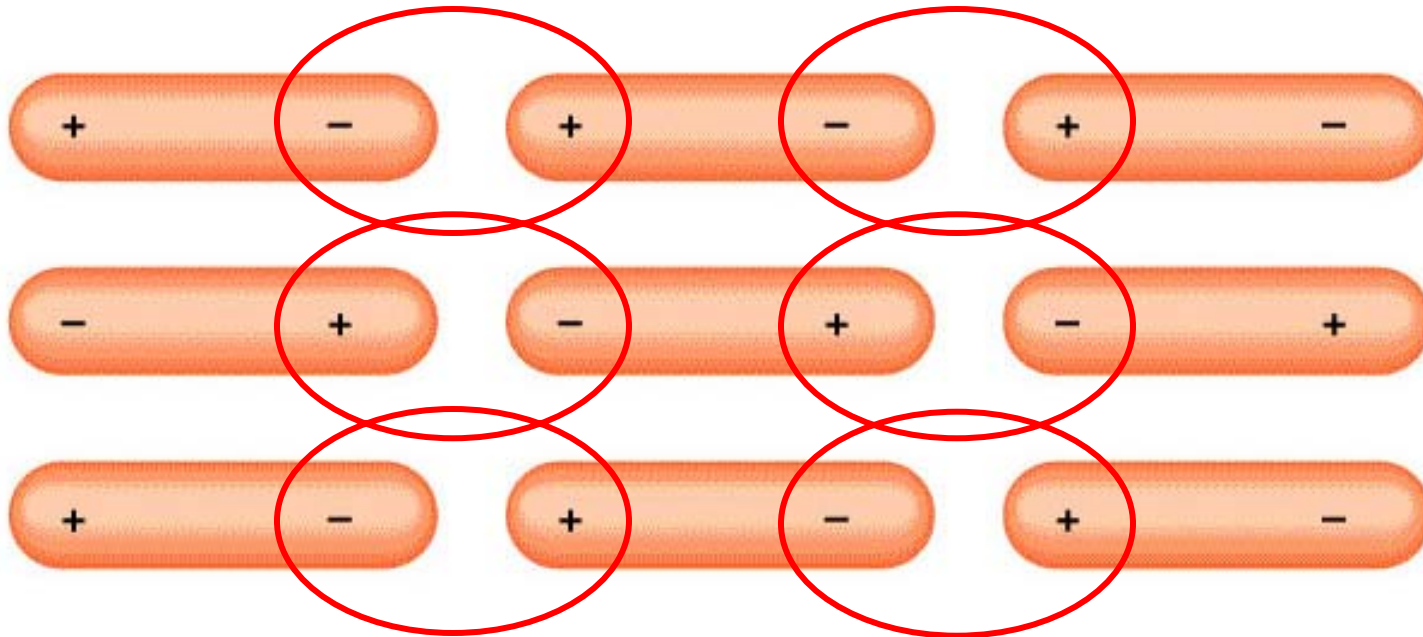
$$\Delta H_{\text{sub}}$$

Fuerzas intermoleculares

Fuerzas dipolo-dipolo

Fuerzas de atracción entre **moléculas polares**.

Orientación de moléculas polares en un sólido

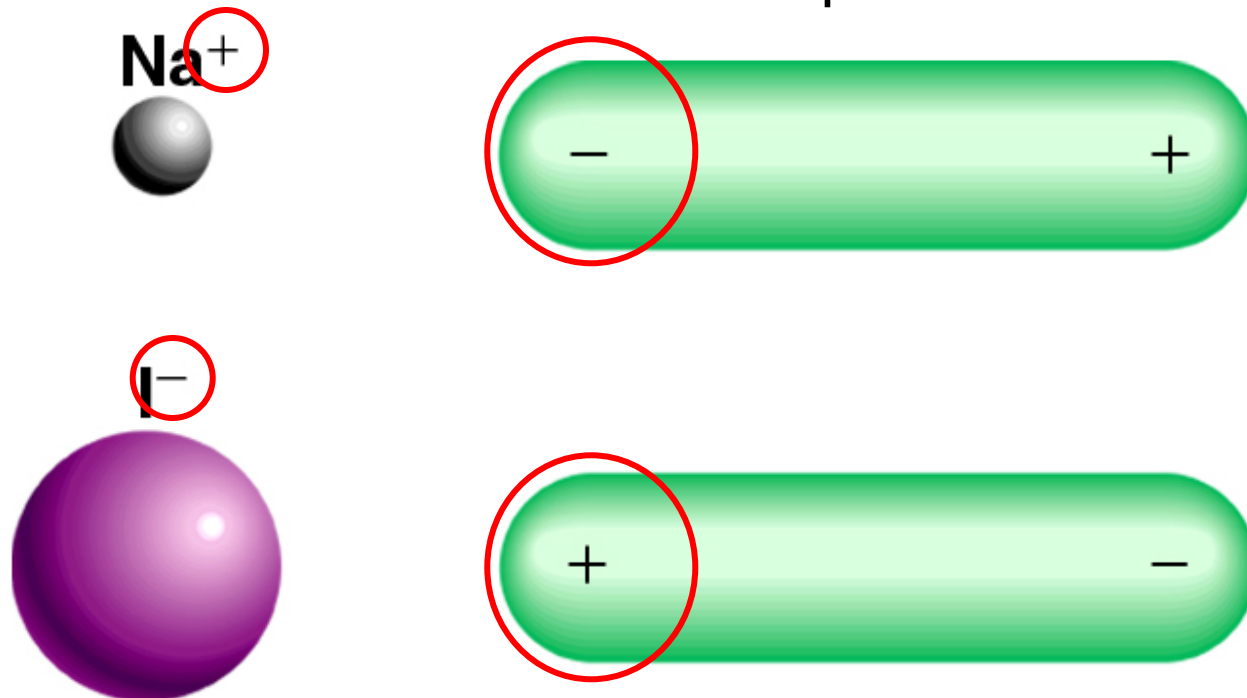


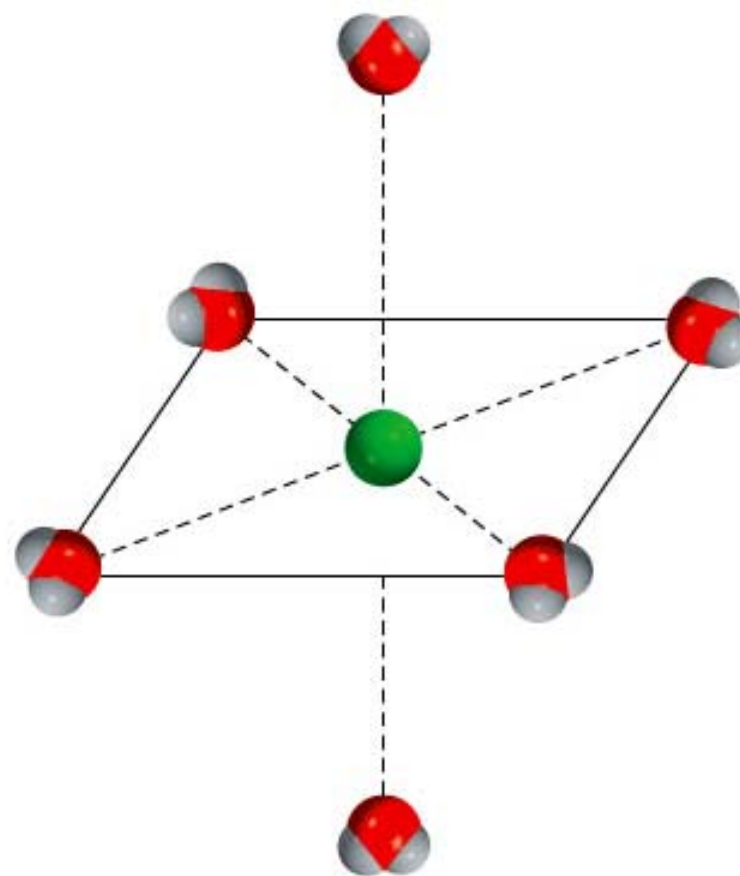
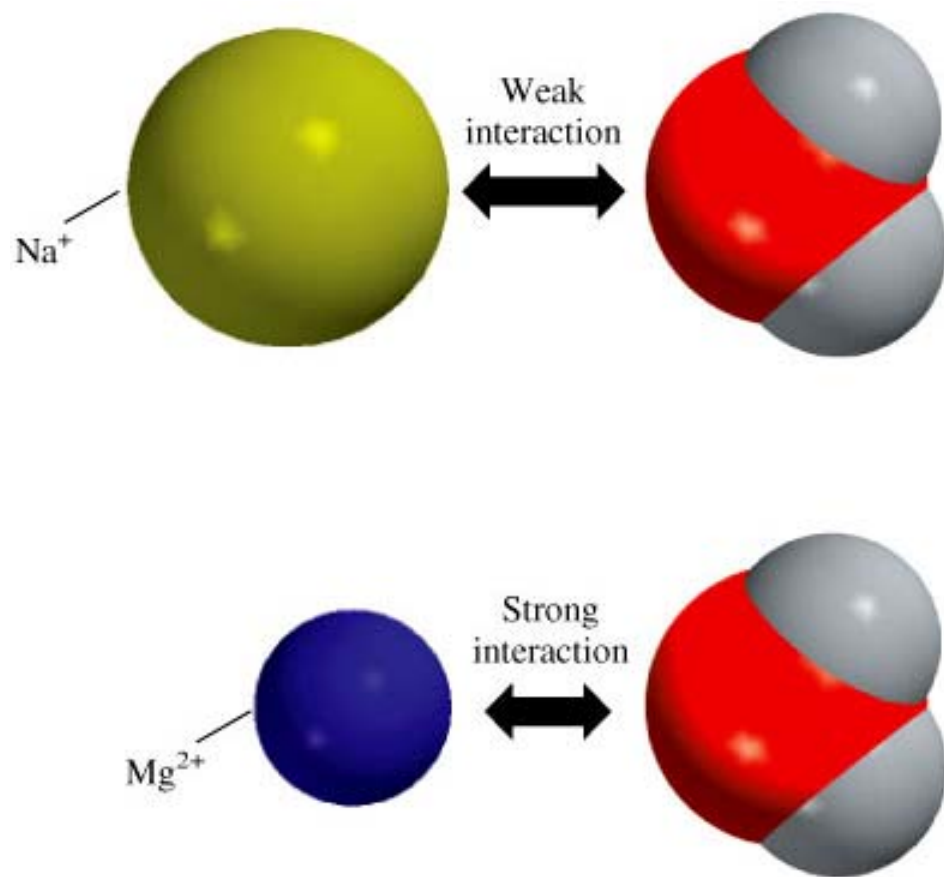
Fuerzas intermoleculares

Fuerzas ion-dipolo

Fuerzas de atracción entre un **ion y una molécula polar**.

Interacción ion-dipolo





Fuerzas intermoleculares

Fuerzas de dispersión

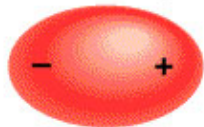
Fuerzas de atracción que surgen como resultado de dipolos temporales inducidos en átomos o moléculas.



Cation



Induced dipole

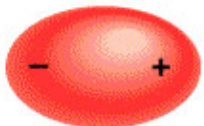


Interacción de ión – dipolo inducido

Dipole

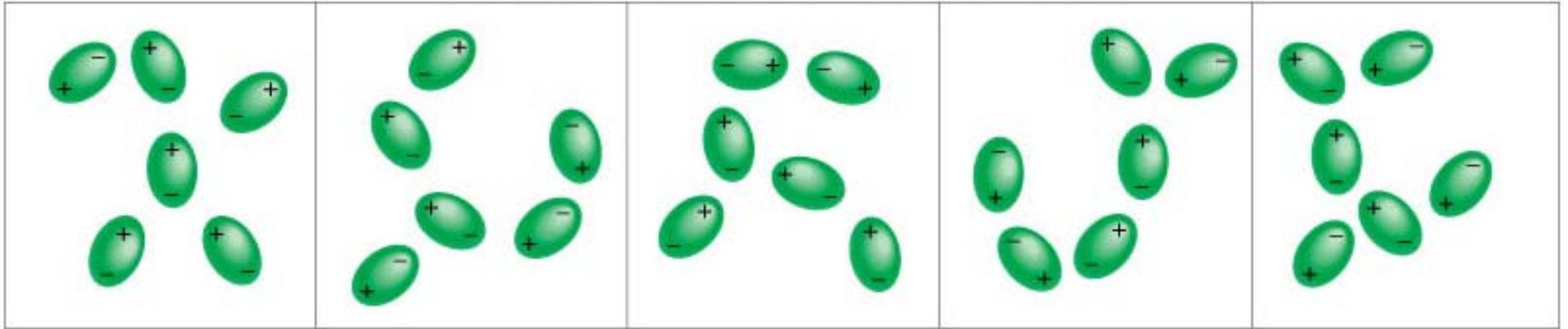


Induced dipole



Interacción de dipolos dipolo-inducido

Dipolos inducidos interactuando entre sí



Fuerzas intermoleculares

Fuerzas de dispersión

Polarización es la facilidad con la que la distribución del electrón en el átomo o molécula puede ser distorsionada.

La **polarización** aumenta con:

- mayor número de electrones
- difusión de más nubes de electrones

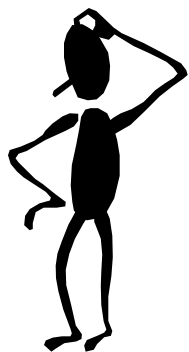


Las fuerzas de dispersión por lo general aumentan con la masa molar.

TABLE 11.2

Melting Points of Similar Nonpolar Compounds

Compound	Melting Point (°C)
CH ₄	-182.5
CF ₄	-150.0
CCl ₄	-23.0
CBr ₄	90.0
CI ₄	171.0



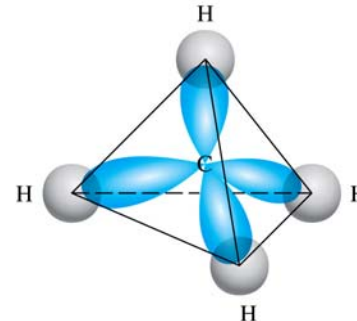
¿Qué tipos de fuerzas intermoleculares existen entre cada una de las siguientes moléculas?

HBr

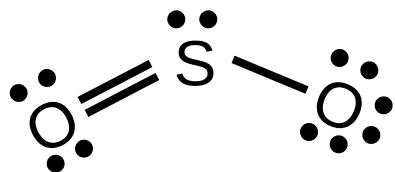
HBr es una molécula polar: interacción dipolo-dipolo. También hay fuerzas de dispersión entre moléculas de HBr.

CH₄

CH₄ es no polar: fuerzas de dispersión.



SO₂



SO₂ es una molécula polar: fuerzas dipolo-dipolo. También hay fuerzas de dispersión entre las moléculas de SO₂.

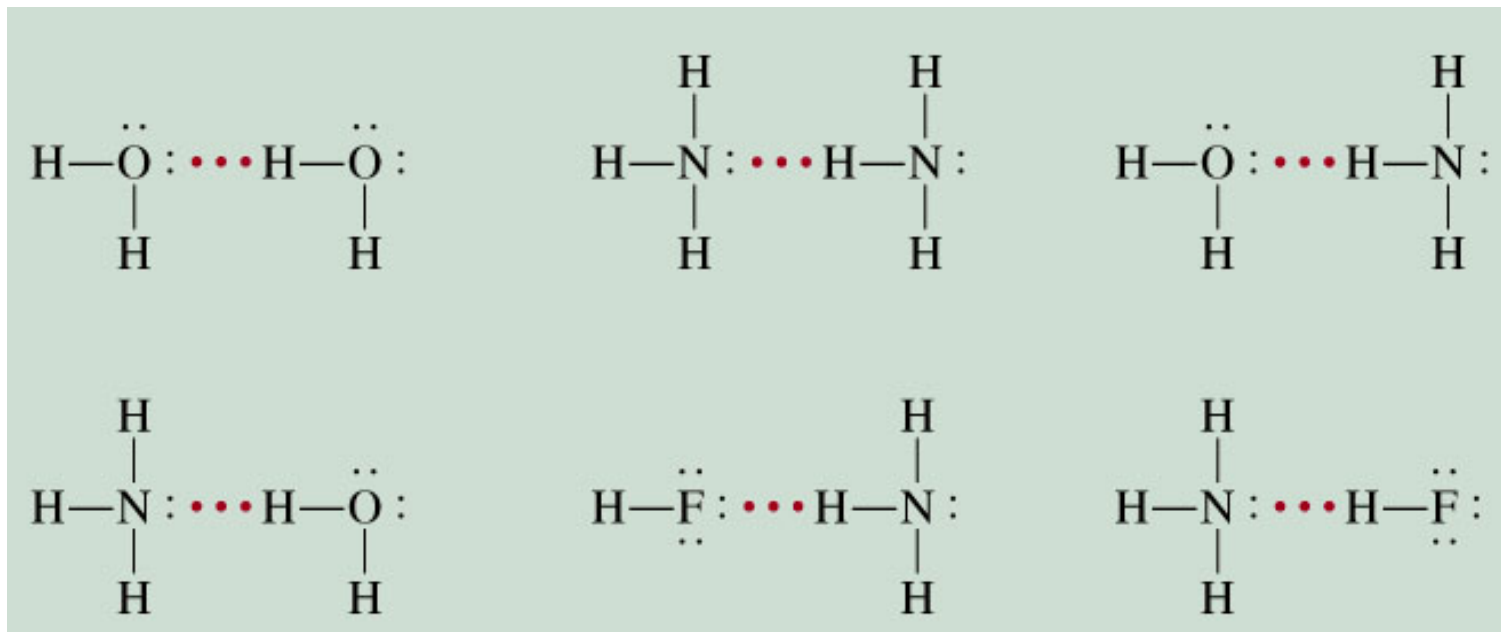
Fuerzas intermoleculares

Enlace por puente de hidrógeno

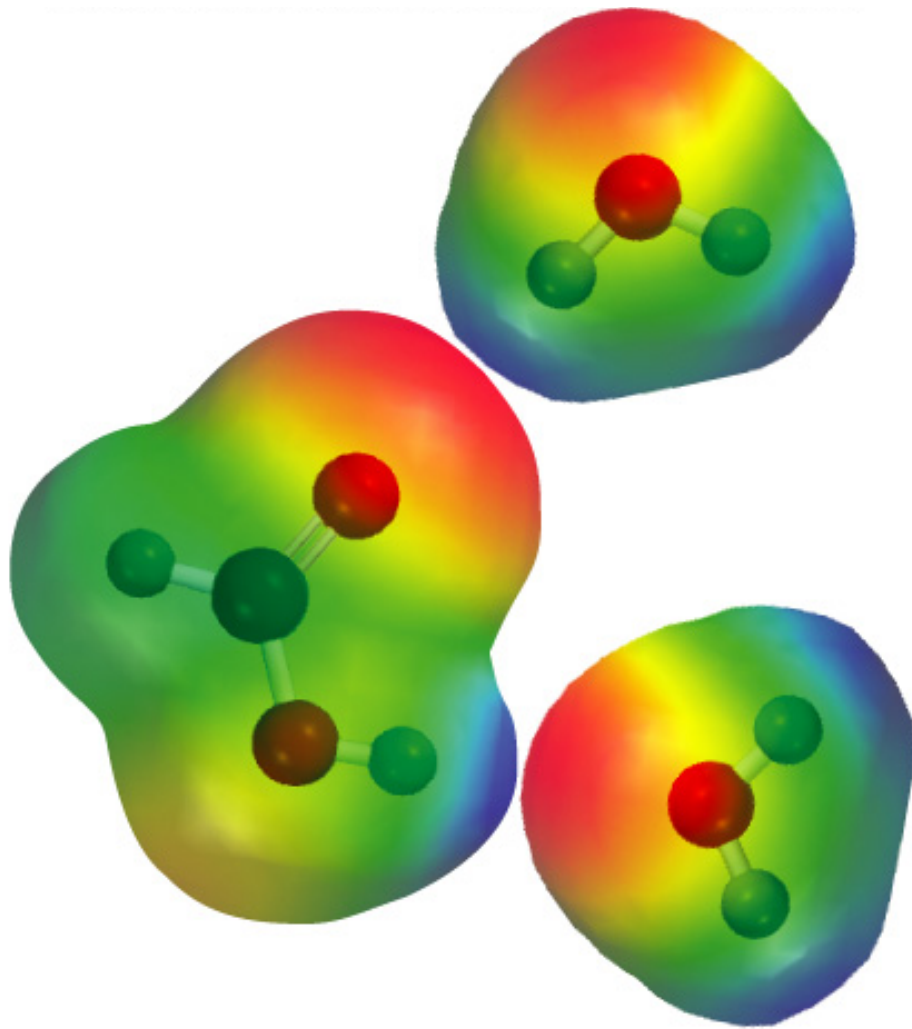
El ***enlace por puente de hidrógeno*** es una interacción dipolo-dipolo especial entre el átomo de hidrógeno en un enlace polar N-H, O-H, o F-H y un enlace electronegativo en los átomos O, N o F.



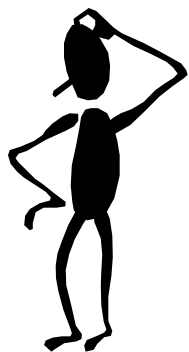
A & B son N, O, o F



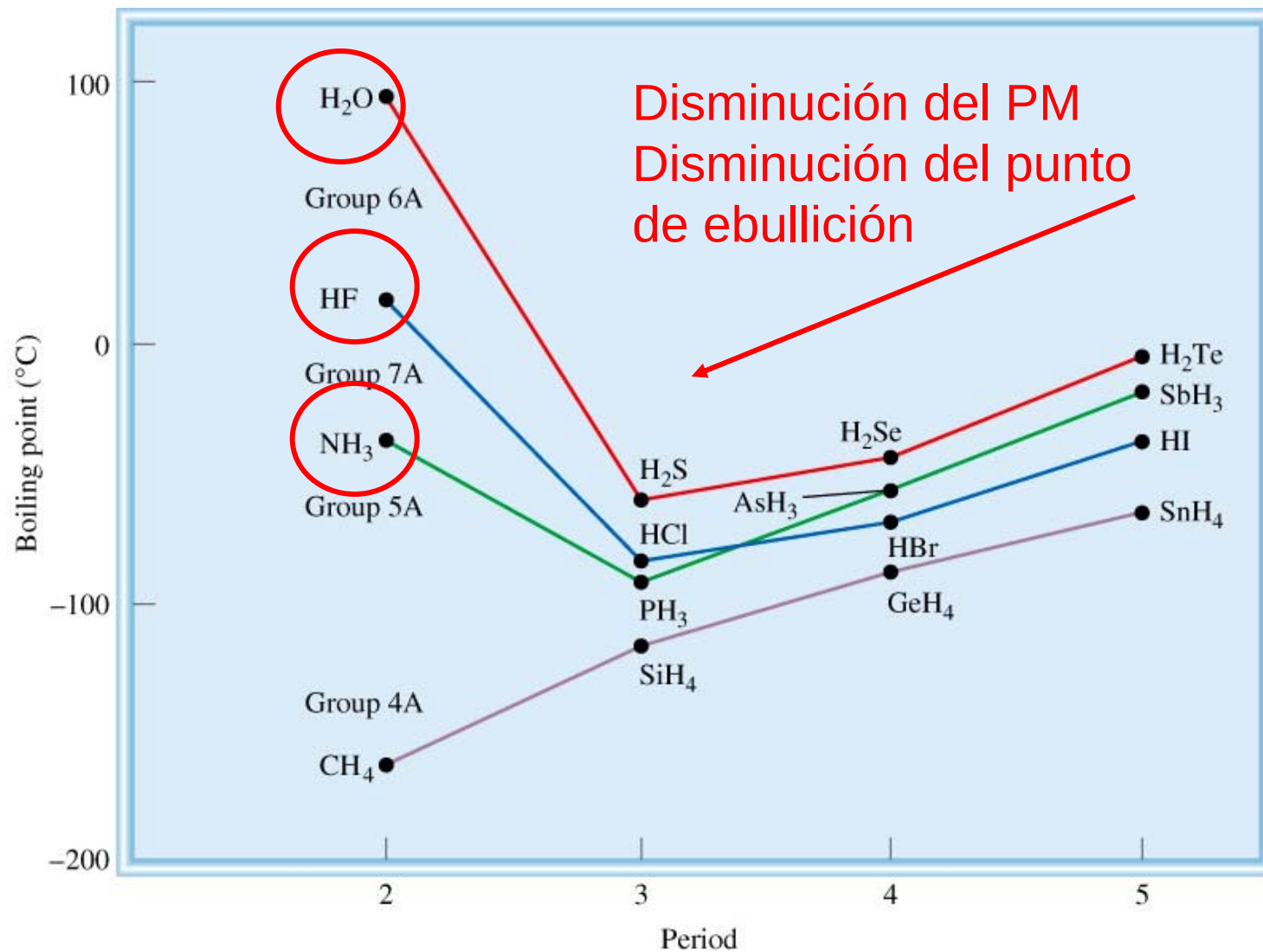
Enlace por puente de hidrógeno



1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
				N	O	F	



¿Por qué se considera al enlace por puente de hidrógeno como una interacción dipolo-dipolo “especial”?

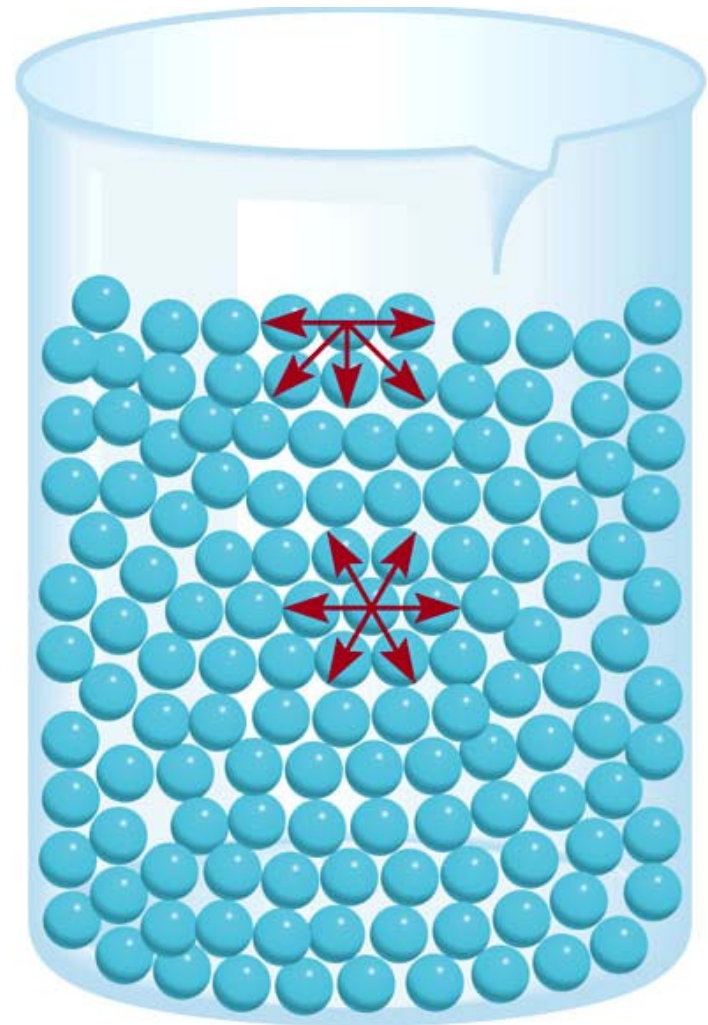


Propiedades de los líquidos

La ***tensión superficial*** es la cantidad de energía requerida para dilatar o aumentar la superficie de un líquido por unidad de área.

Fuerzas
intermoleculares
fuertes

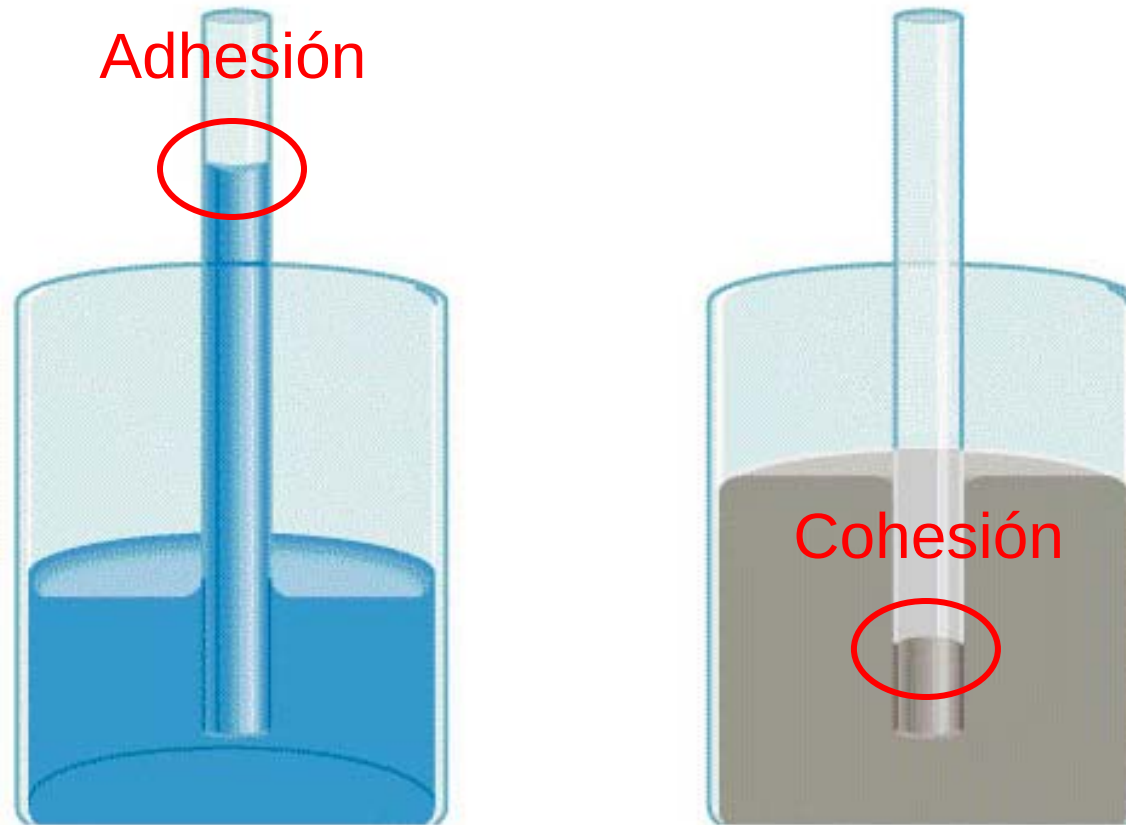
Alta
tensión
superficial



Propiedades de los líquidos

Cohesión es la atracción intermolecular entre moléculas similares.

Adhesión es una atracción entre moléculas diferentes.



Propiedades de los líquidos

Viscosidad es una medida de la resistencia de un líquido para fluir.

Fuerzas
intermoleculares
fuertes

Alta
viscosidad

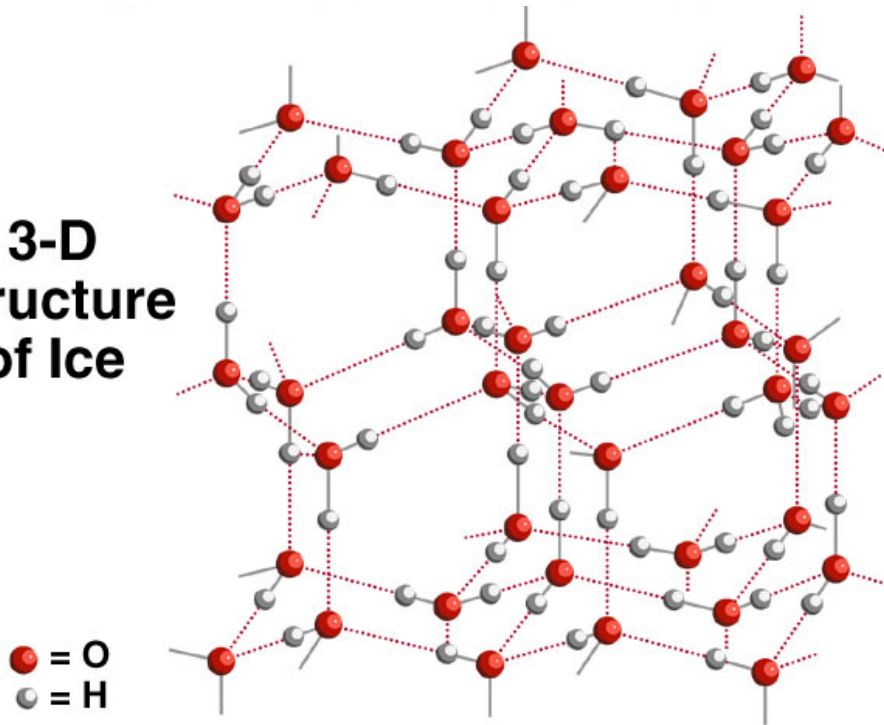
TABLE 11.3

Viscosity of Some Common Liquids at 20°C

Liquid	Viscosity (N s/m ²)*
Acetone (C ₃ H ₆ O)	3.16×10^{-4}
Benzene (C ₆ H ₆)	6.25×10^{-4}
Blood	4×10^{-3}
Carbon tetrachloride (CCl ₄)	9.69×10^{-4}
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	1.20×10^{-3}
Diethyl ether (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	2.33×10^{-4}
Glycerol (C ₃ H ₈ O ₃)	1.49
Mercury (Hg)	1.55×10^{-3}
Water (H ₂ O)	1.01×10^{-3}

*The SI units of viscosity are newton-second per meter squared.

3-D Structure of Ice



El hielo es menos denso que el agua

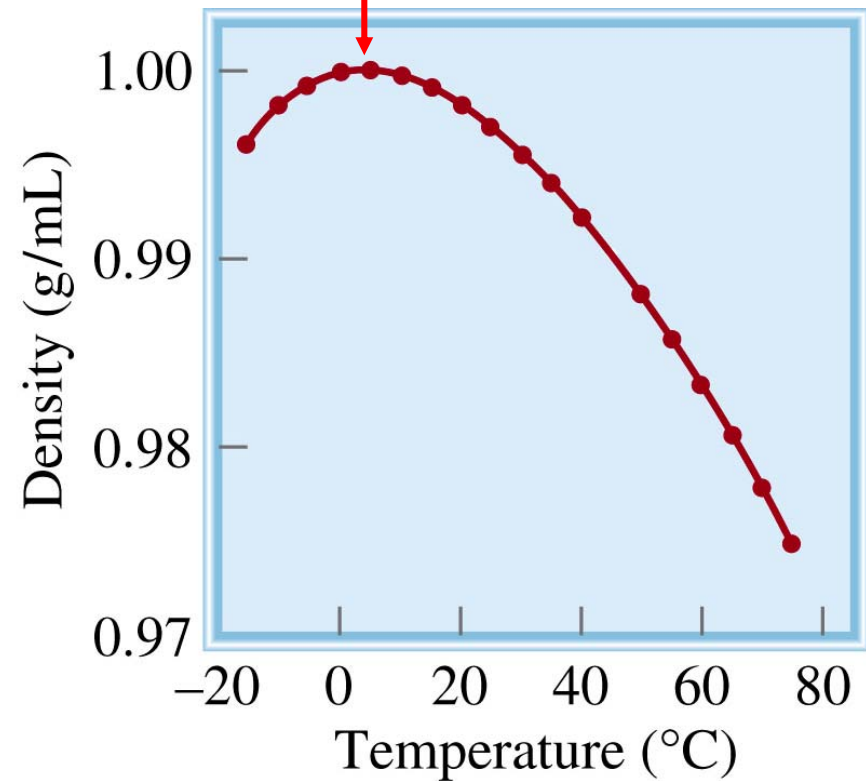


El agua es una sustancia única

Densidad máxima

4°C

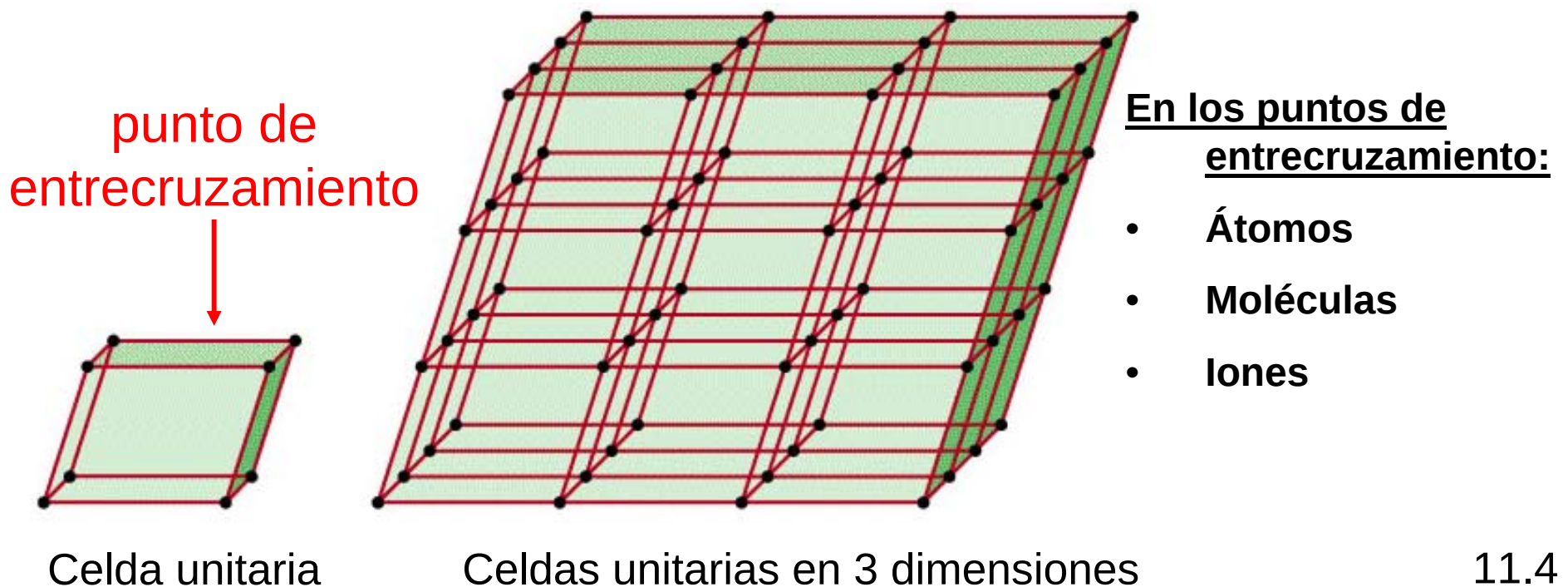
Densidad del agua



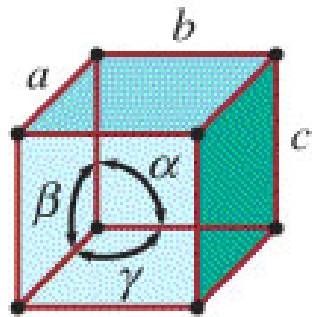
Un **sólido cristalino** posee un orden rígido y largo. En un sólido cristalino, los átomos, moléculas o iones ocupan posiciones específicas (predecibles).

Un **sólido** amorfo no posee una disposición bien definida ni un orden molecular de rango largo.

Una **celda unitaria** es la unidad estructural de repetición básica de un sólido cristalino.

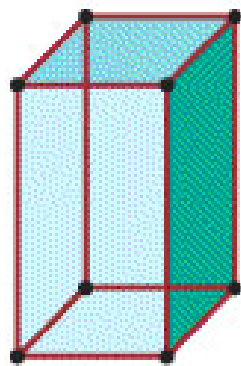


Seven Types of Unit Cells



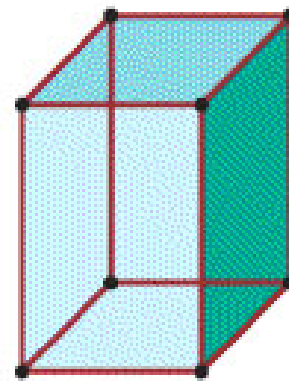
Simple cubic

$$a = b = c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



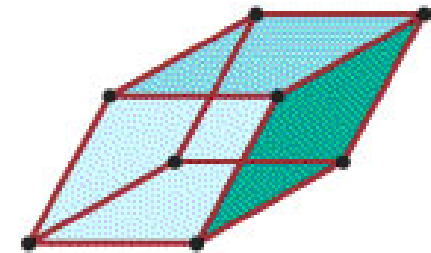
Tetragonal

$$a = b \neq c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



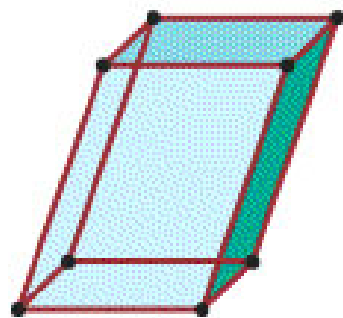
Orthorhombic

$$a \neq b \neq c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



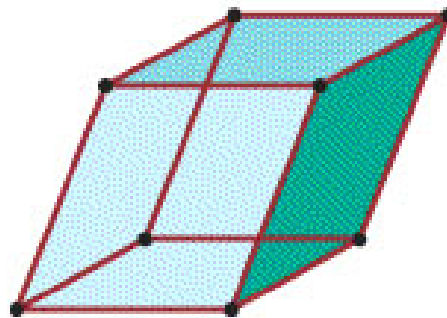
Rhombohedral

$$a = b = c$$
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



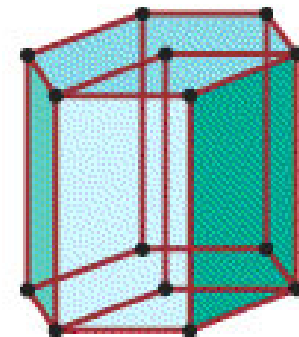
Monoclinic

$$a \neq b \neq c$$
$$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$$



Triclinic

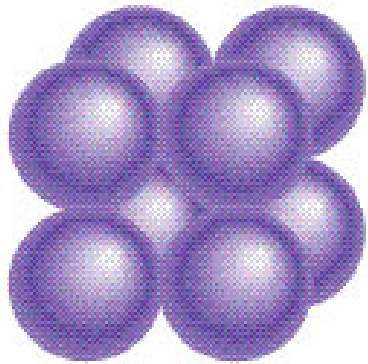
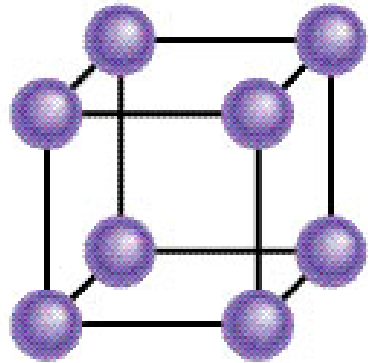
$$a \neq b \neq c$$
$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$



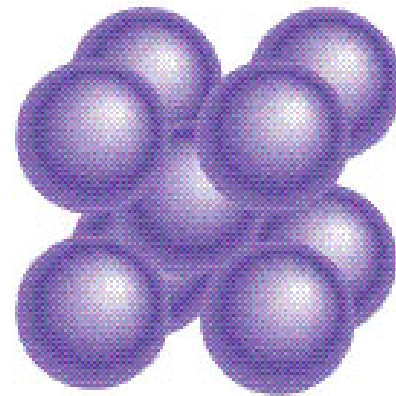
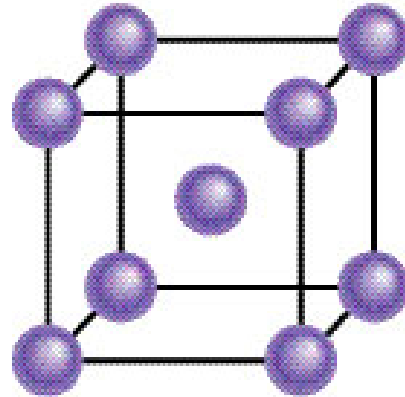
Hexagonal

$$a = b \neq c$$
$$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$$

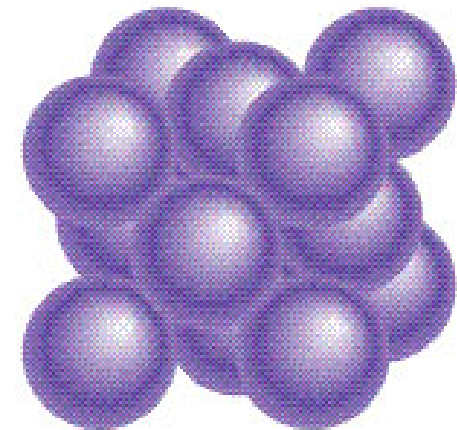
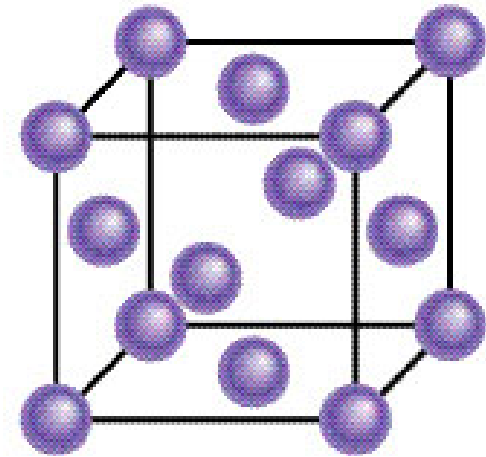
Three Types of Cubic Cells



Cúbica simple

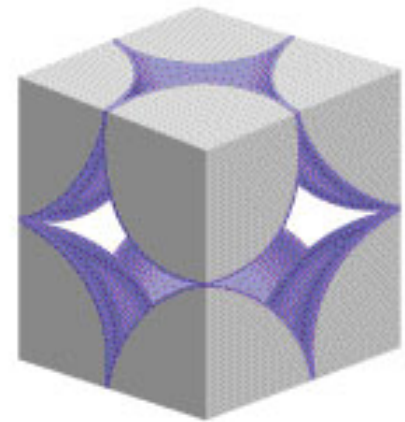
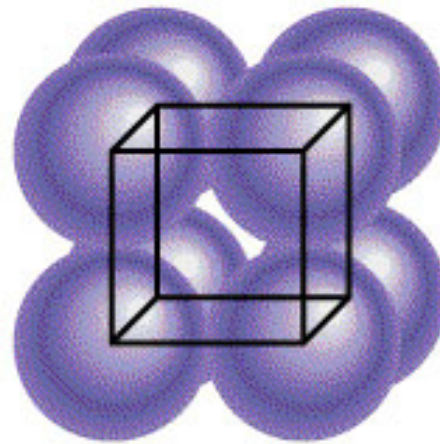
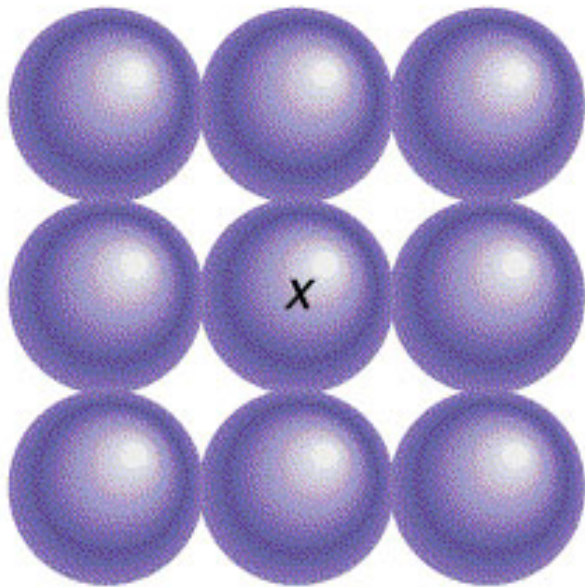


**Cúbica centrada en
el cuerpo**

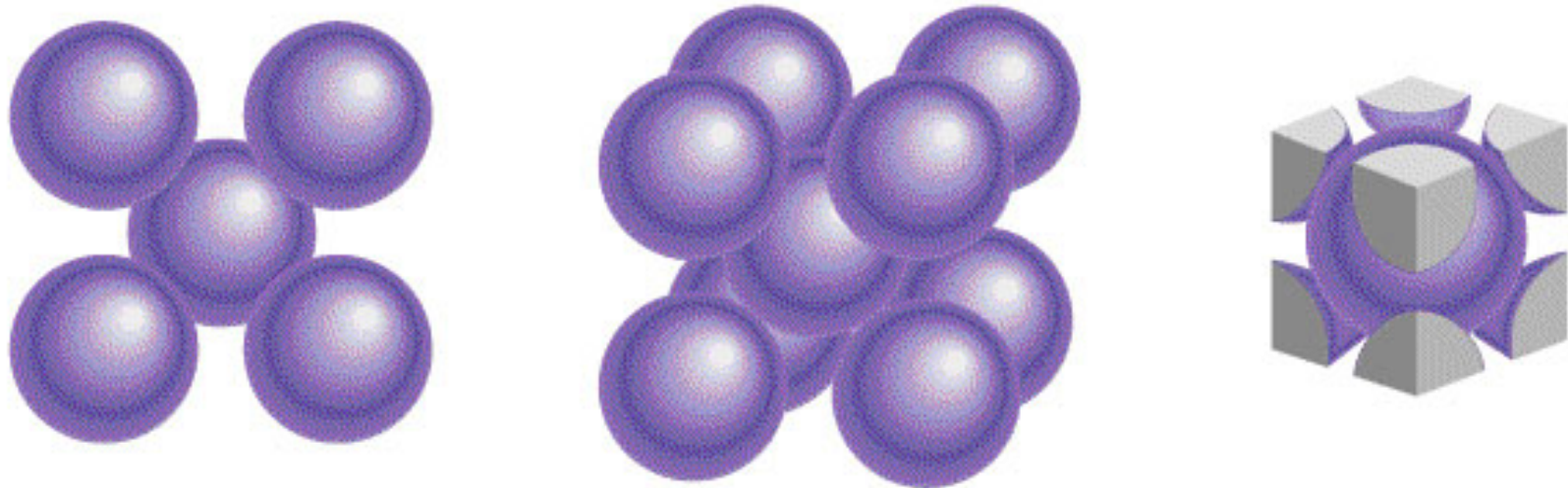


**Cúbica centrada en
las caras**

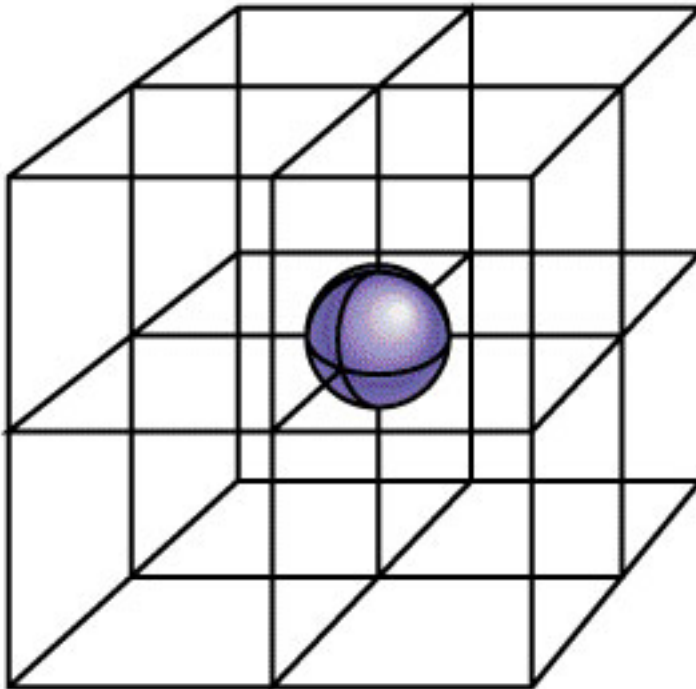
Arrangement of Identical Spheres in a simple Cubic Cell



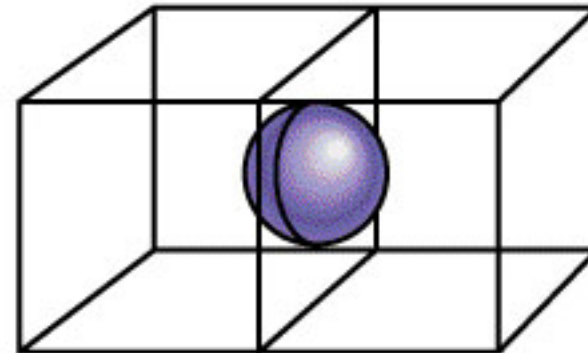
Arrangement of Identical Spheres in a Body-Centered Cube



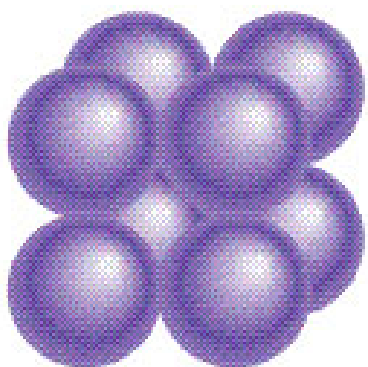
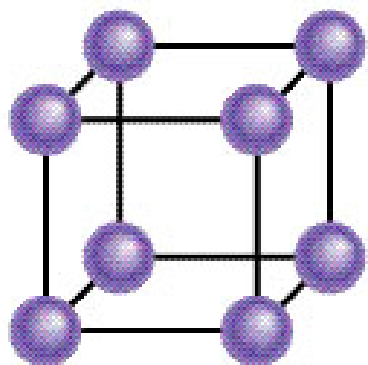
A Corner Atom and a Face-Centered Atom



Compartido
por **8** celdas
unitarias

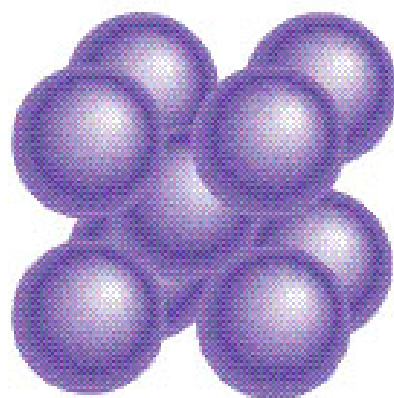
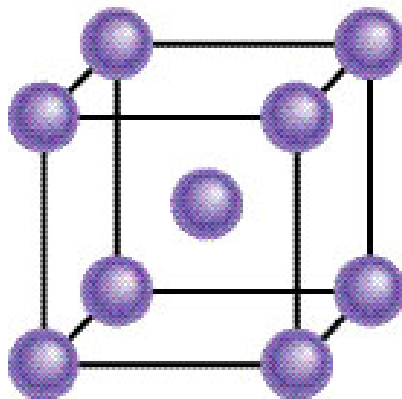


Compartido
por **2** celdas
unitarias



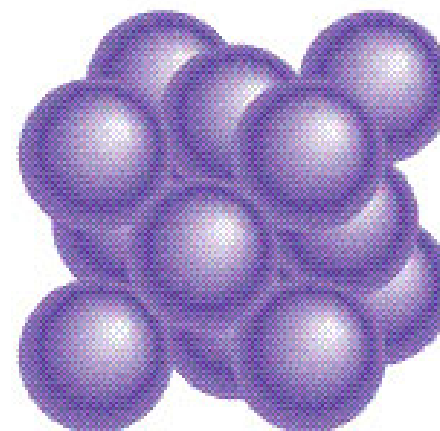
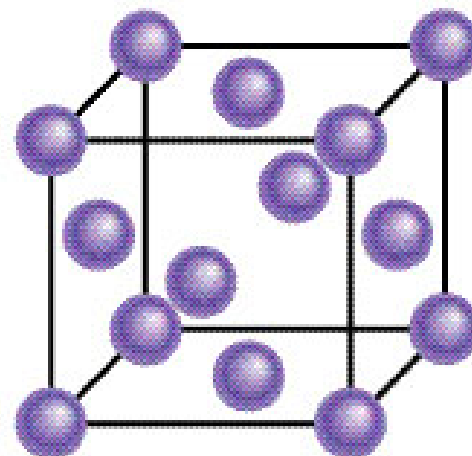
Simple cubic

1 átomo/celda unitaria
 $(8 \times 1/8 = 1)$



Body-centered cubic

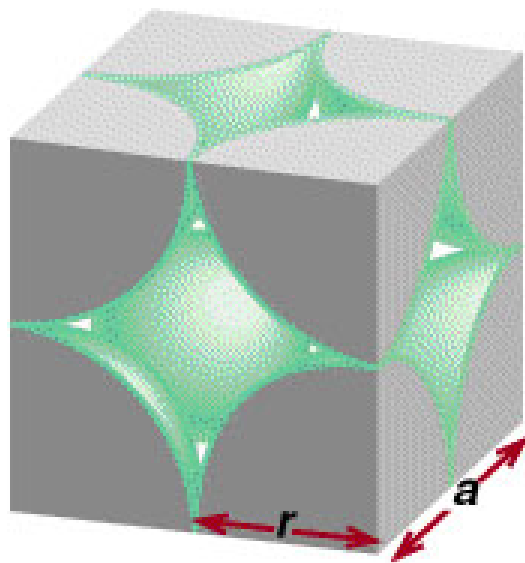
2 átomos/celda unitaria
 $(8 \times 1/8 + 1 = 2)$



Face-centered cubic

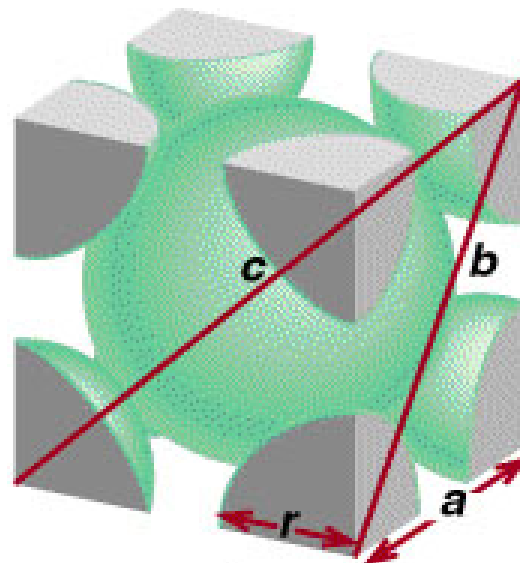
4 átomos/celda unitaria
 $(8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4)$

Relationship Between the Atomic Radius and the Edge Length in Three Different Unit Cells



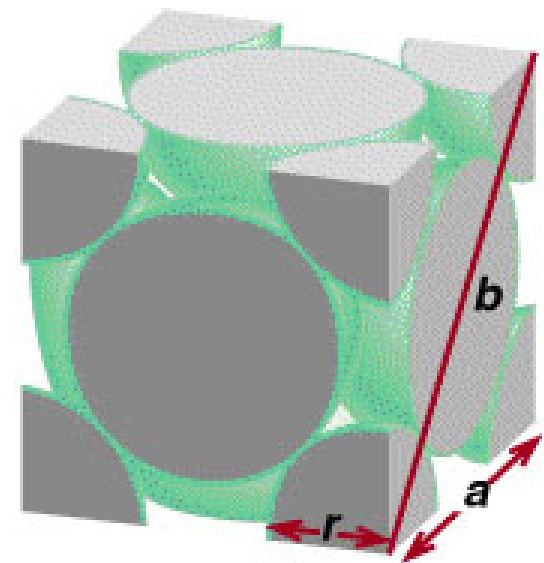
scc

$$a = 2r$$



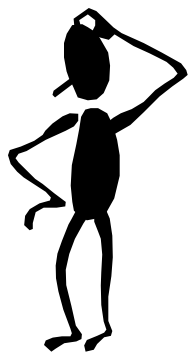
bcc

$$\begin{aligned} b^2 &= a^2 + a^2 \\ c^2 &= a^2 + b^2 \\ &= 3a^2 \\ c &= \sqrt{3}a = 4r \\ a &= \frac{4r}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$



fcc

$$\begin{aligned} b &= 4r \\ b^2 &= a^2 + a^2 \\ 16r^2 &= 2a^2 \\ a &= \frac{4r}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$



Cuando la plata se cristaliza, forma celdas cúbicas de cara centrada. La longitud de la arista de la celda unitaria es de 409 pm. Calcular la densidad de la plata.

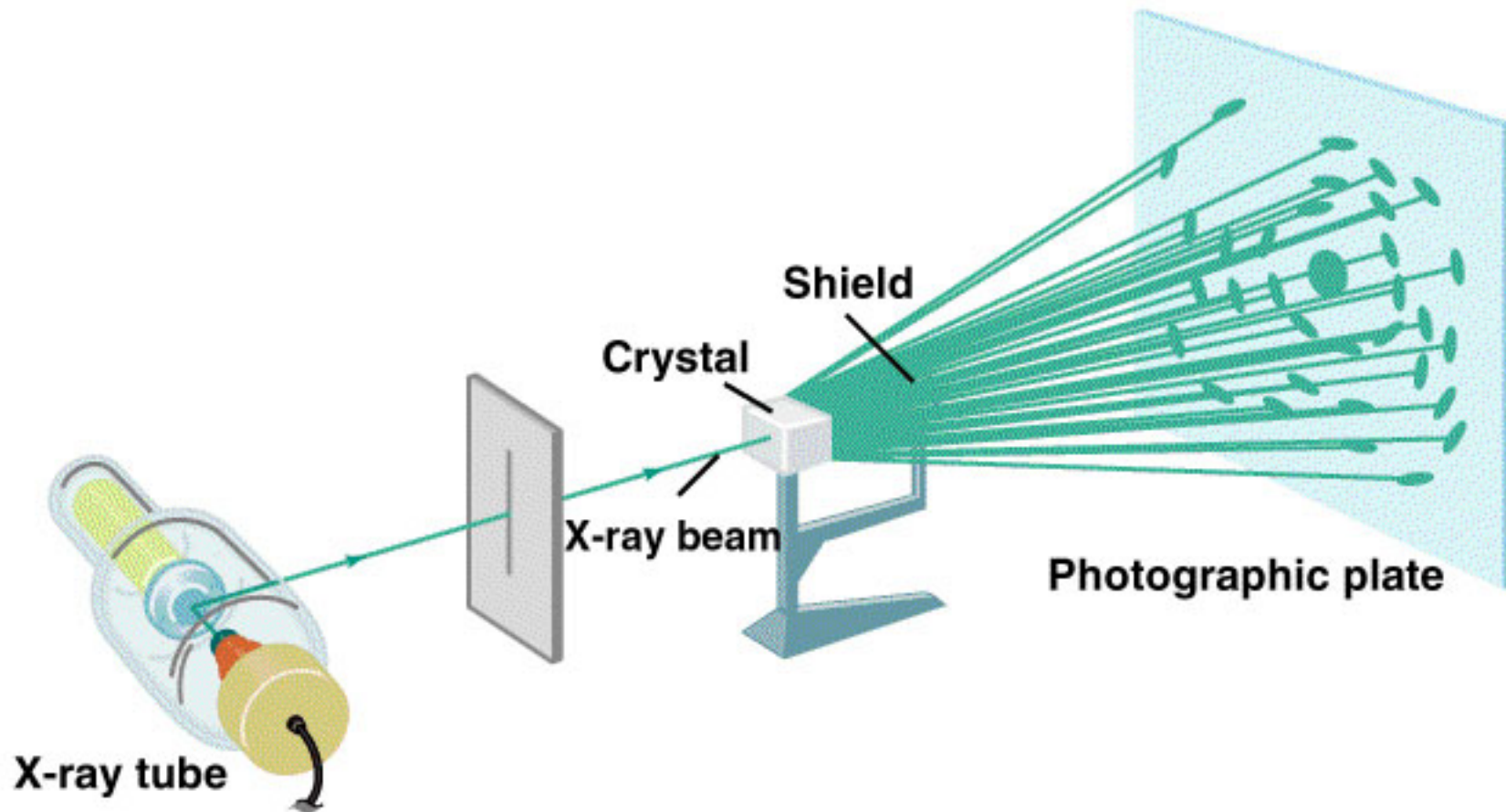
$$d = \frac{m}{V} \quad V = a^3 = (409 \text{ pm})^3 = 6.83 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$$

4 átomos/celda unitaria en una celda cúbica de cara centrada

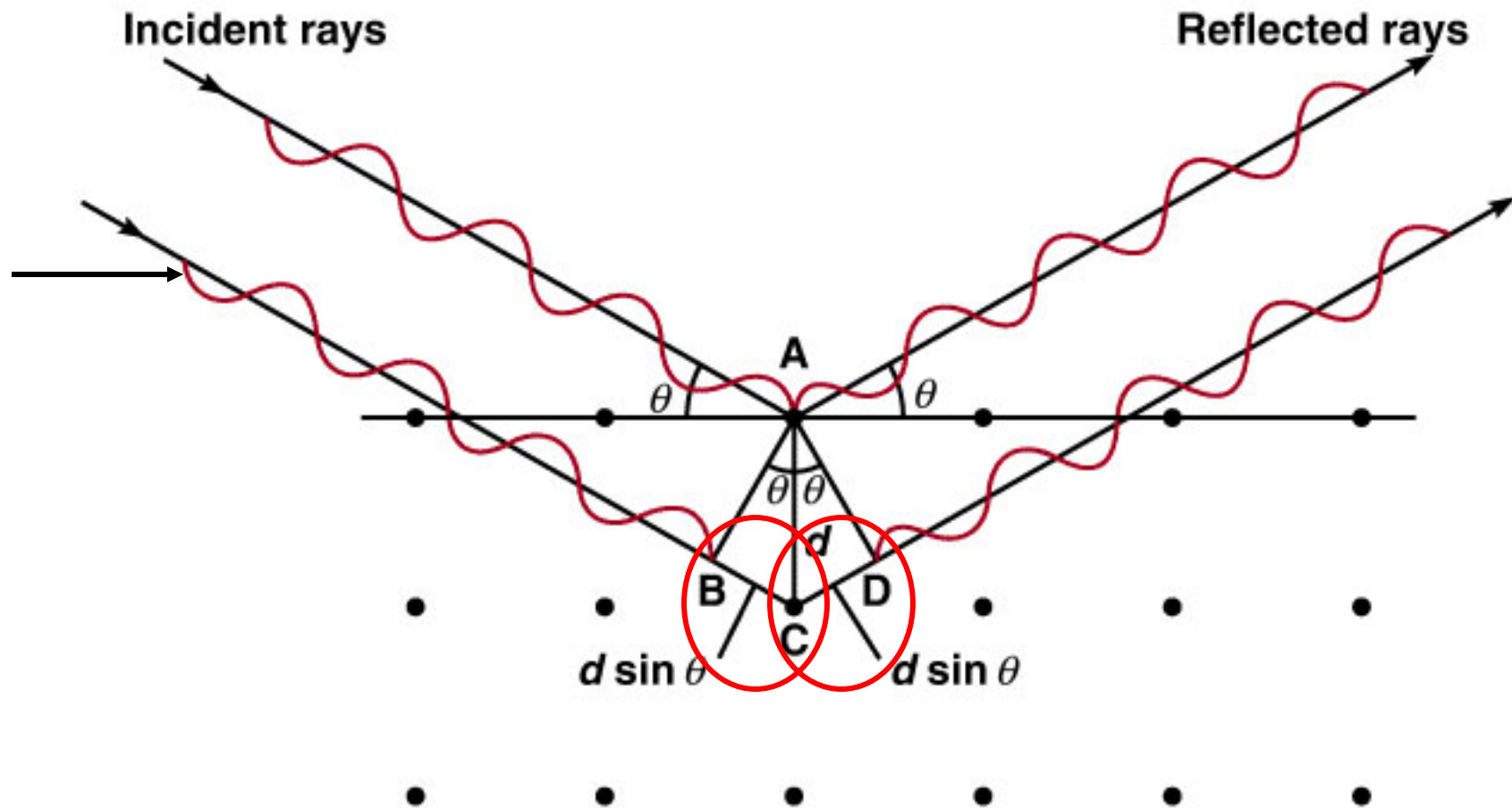
$$m = 4 \text{ Ag } \cancel{\text{átomos}} \times \frac{107.9 \text{ g}}{\cancel{\text{mol Ag}}} \times \frac{1 \cancel{\text{mol Ag}}}{6.022 \times 10^{23} \cancel{\text{átomos}}} = 7.17 \times 10^{-22} \text{ g}$$

$$d = \frac{m}{V} = \frac{7.17 \times 10^{-22} \text{ g}}{6.83 \times 10^{-23} \text{ cm}^3} = 10.5 \text{ g/cm}^3$$

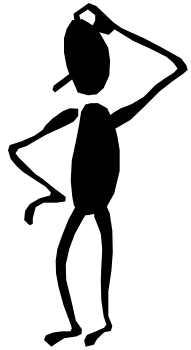
Arrangement for Obtaining the X-Ray Diffraction Pattern of a Crystal



Reflection of X Rays from Two Layers of Atoms



Distancia extra = $BC + CD = 2d \sin \theta = n\lambda$ (Ecuación de Bragg)



Rayos X con una longitud de onda de 0.154 nm son difractados desde un cristal a un ángulo de 14.17° . Suponiendo que $n = 1$, ¿cuál es la distancia (en pm) entre las capas en el cristal?

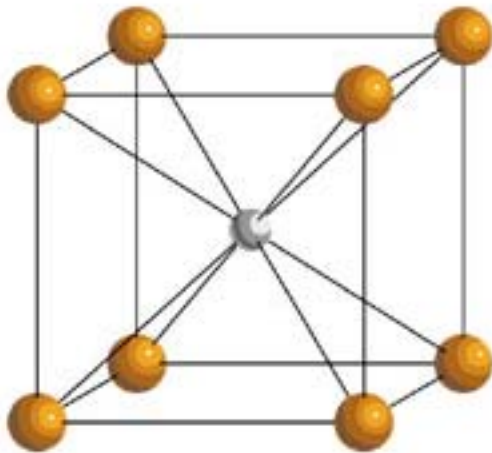
$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad n = 1 \quad \theta = 14.17^\circ \quad \lambda = 0.154 \text{ nm} = 154 \text{ pm}$$

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1 \times 154 \text{ pm}}{2 \times \sin 14.17} = 314.0 \text{ pm}$$

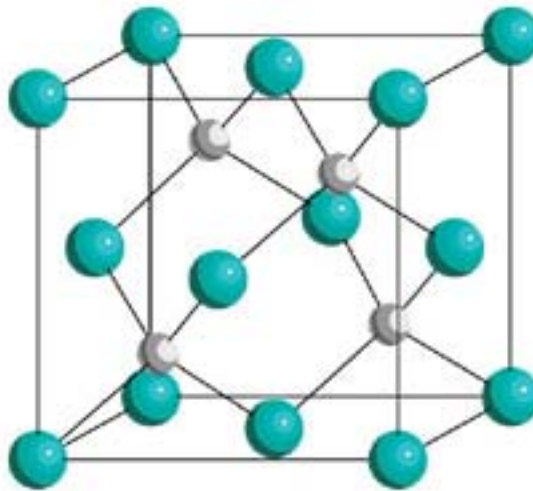
Tipos de cristales

Cristales iónicos

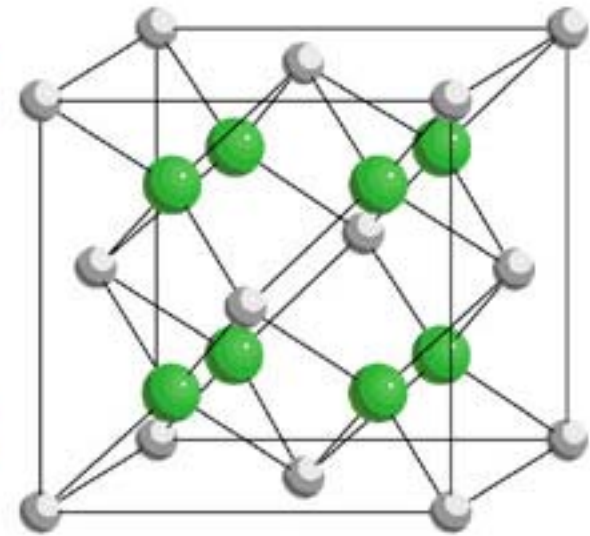
- Puntos de entrecruzamiento ocupados por cationes y aniones
- Se mantienen unidos por atracción electrostática
- Duros, frágiles, punto de fusión alto
- Malos conductores de calor y electricidad



CsCl



ZnS

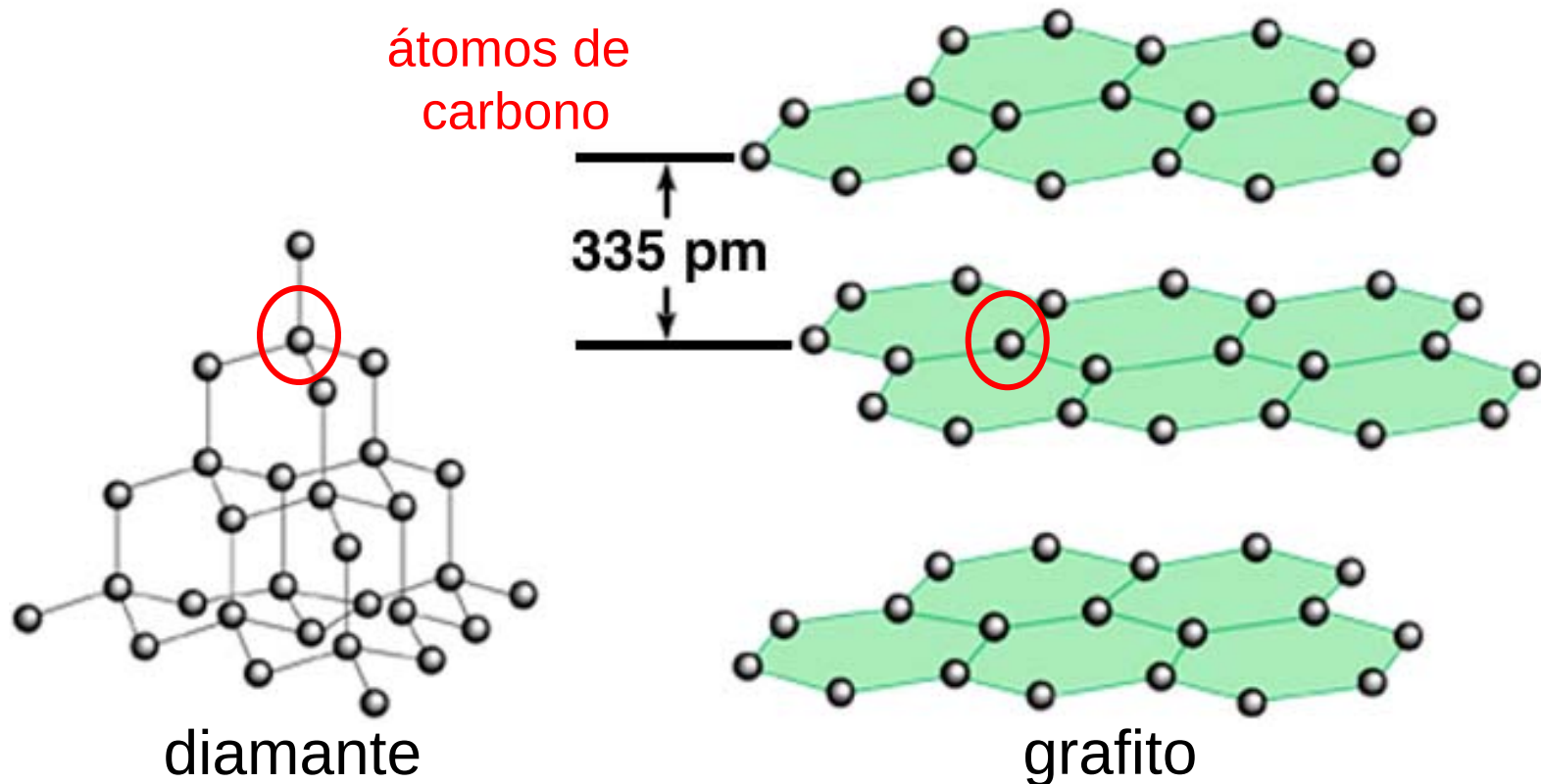


CaF₂

Tipos de cristales

Cristales covalentes

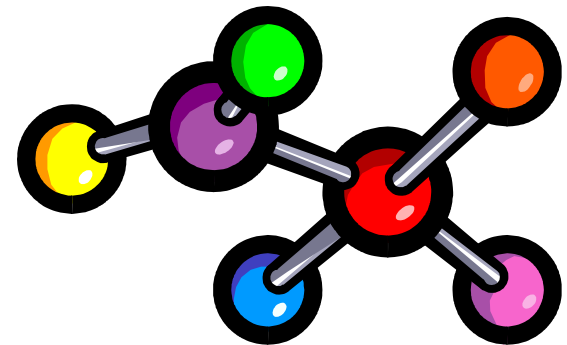
- Puntos de entrecruzamiento ocupados por átomos
- Se mantienen unidos por enlaces covalentes
- Duros, punto de fusión alto
- Malos conductores de calor y electricidad



Tipos de cristales

Cristales moleculares

- Puntos de entrecruzamiento ocupados por moléculas
- Se mantienen unidos por fuerzas intermoleculares
- Blandos, punto de fusión bajo
- Malos conductores de calor y electricidad



Tipos de cristales

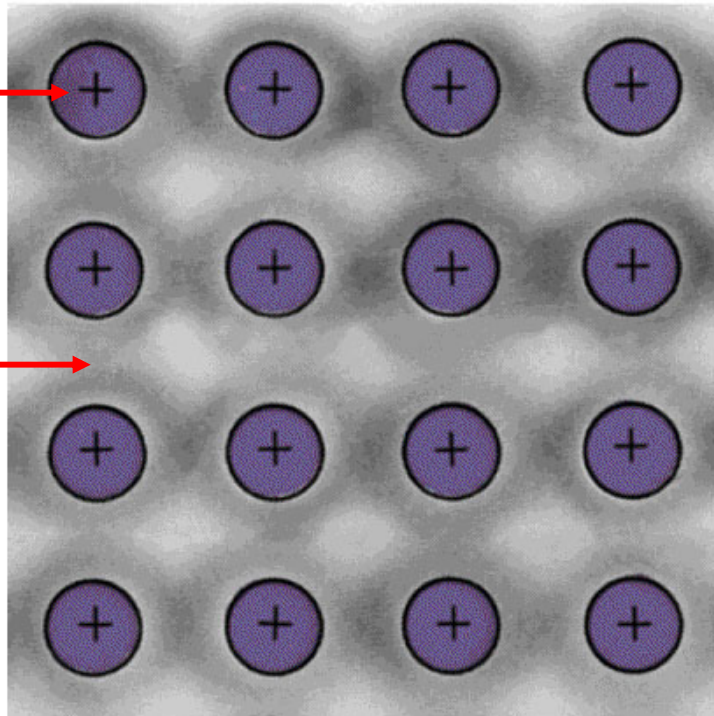
Cristales metálicos

- Puntos de entrecruzamiento ocupados por átomos de metal
- Se mantienen unidos por enlaces metálicos
- Blandos a duros, punto de fusión de bajo a alto
- Buenos conductores de calor y electricidad

Corte transversal de un cristal metálico

núcleo y capa
interna e^-

“mar” móvil
de e^-



Estructuras de cristales metálicos

1 1A	2 2A											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
Li	Be											Al					
Na	Mg	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	Ga					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	In	Sn				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	Tl	Pb				
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg						

Hexagonal close-packed

Face-centered cubic

Body-centered cubic

Other structures

Tipos de cristales

TABLE 11.4 Types of Crystals and General Properties

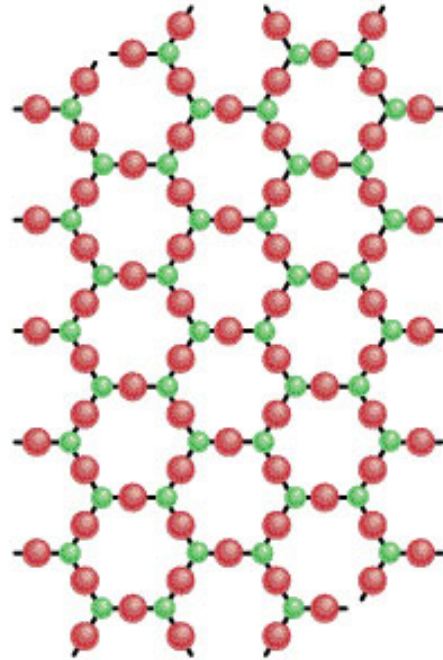
Type of Crystal	Force(s) Holding the Units Together	General Properties	Examples
Ionic	Electrostatic attraction	Hard, brittle, high melting point, poor conductor of heat and electricity	NaCl, LiF, MgO, CaCO ₃
Covalent	Covalent bond	Hard, high melting point, poor conductor of heat and electricity	C (diamond), [†] SiO ₂ (quartz)
Molecular*	Dispersion forces, dipole-dipole forces, hydrogen bonds	Soft, low melting point, poor conductor of heat and electricity	Ar, CO ₂ , I ₂ , H ₂ O, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (sucrose)
Metallic	Metallic bond	Soft to hard, low to high melting point, good conductor of heat and electricity	All metallic elements; for example, Na, Mg, Fe, Cu

*Included in this category are crystals made up of individual atoms.

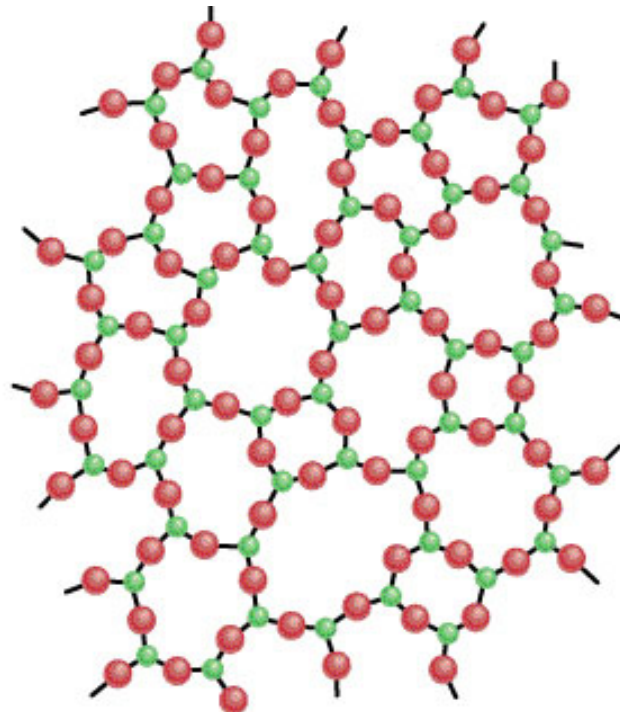
[†]Diamond is a good thermal conductor.

Un **sólido amorfo** no posee una disposición bien definida ni orden molecular de rango largo.

Un **vidrio** es un producto de fusión de materiales inorgánicos ópticamente transparente, que tiene un estado frío rígido **sin cristalización**

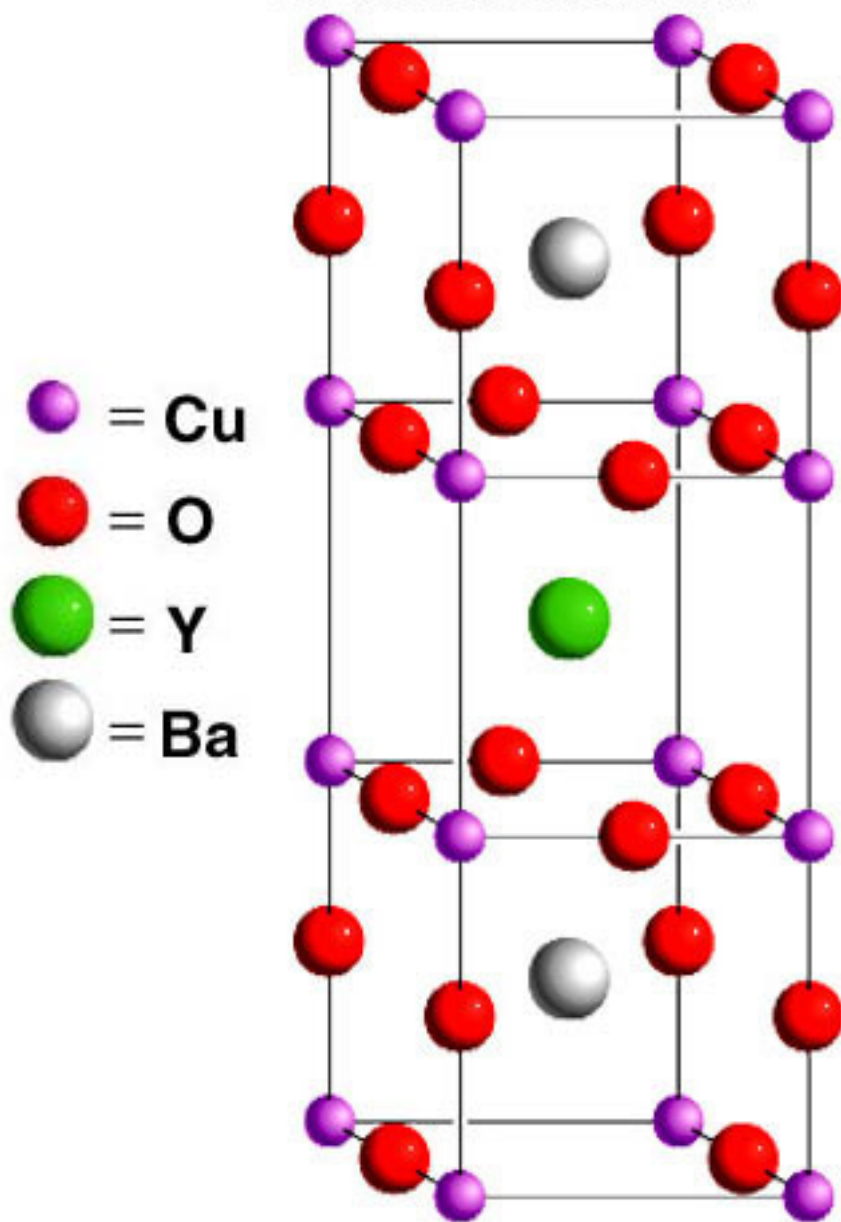


Cuarzo
cristalino (SiO_2)



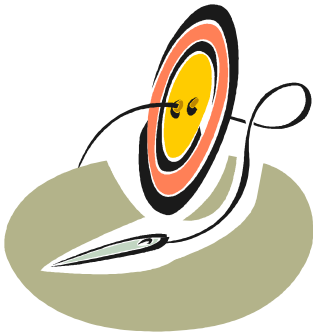
Vidrio de cuarzo
no cristalino

La Química en acción: Superconductores a altas temperaturas

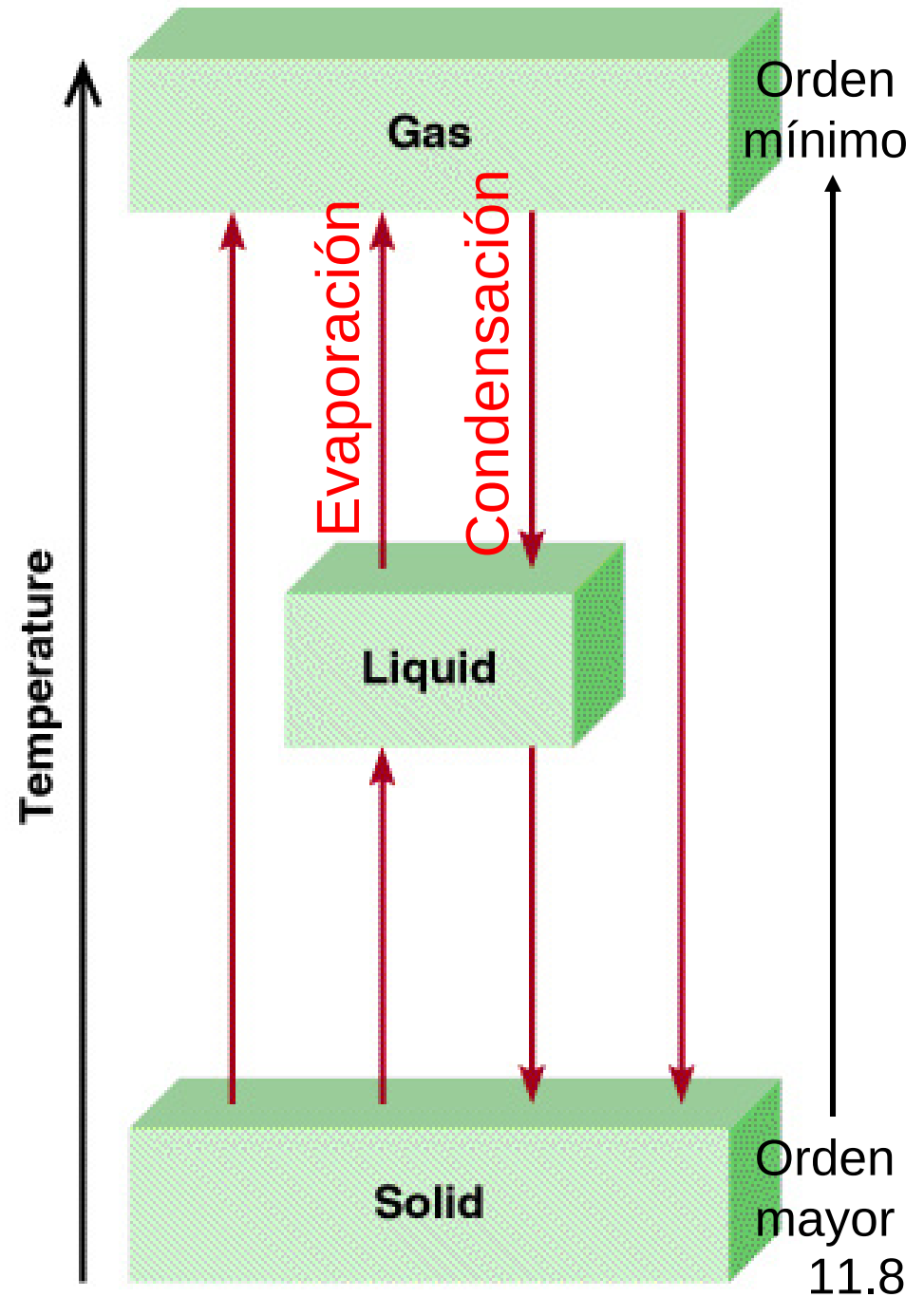
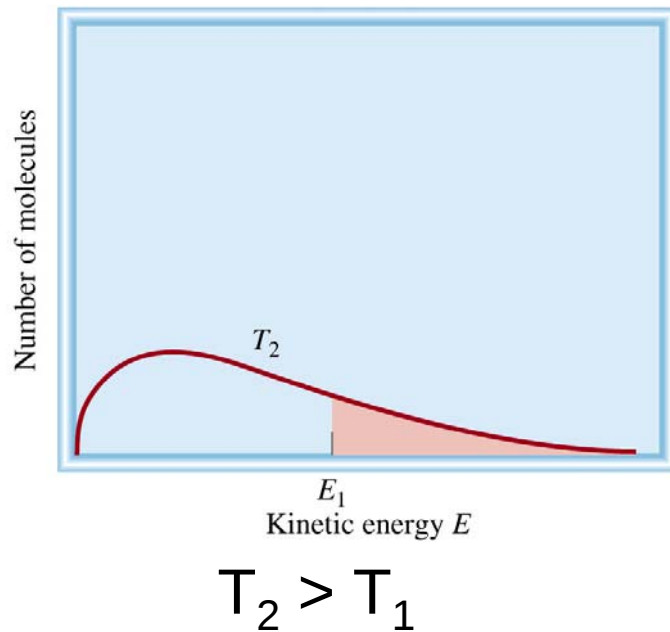
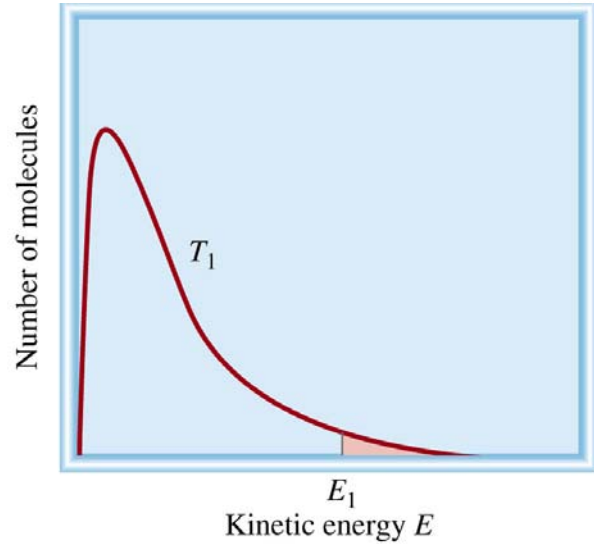


La Química en acción: Y todo por un botón

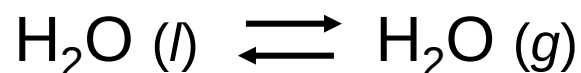
latón blanco $\xrightarrow{T < 13^{\circ}\text{C}}$ latón gris
estable débil



Phase Changes

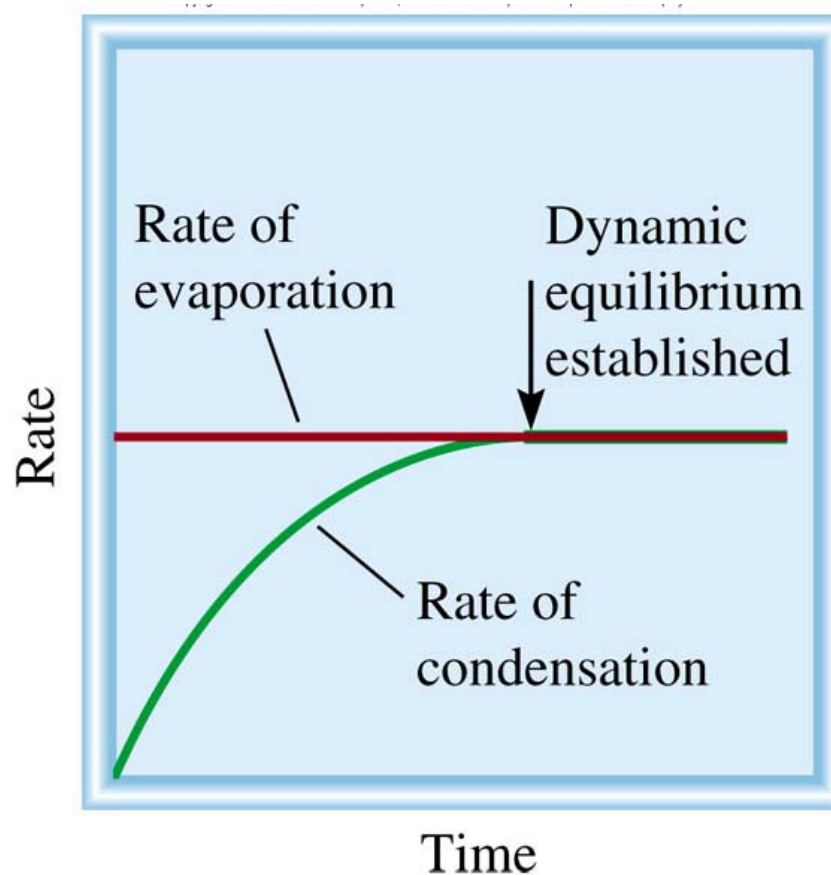


La ***presión de vapor en equilibrio*** es la presión de vapor medida cuando existe un equilibrio dinámico entre la condensación y la evaporación.

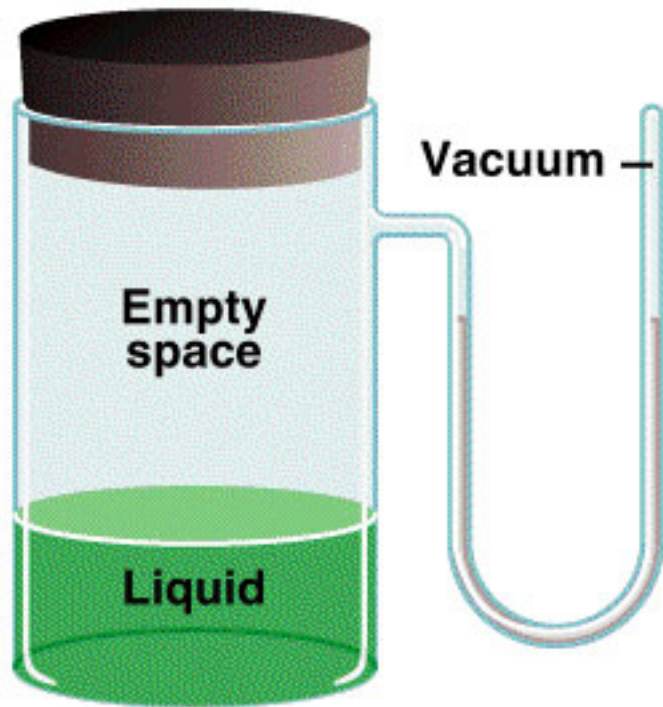


Equilibrio dinámico

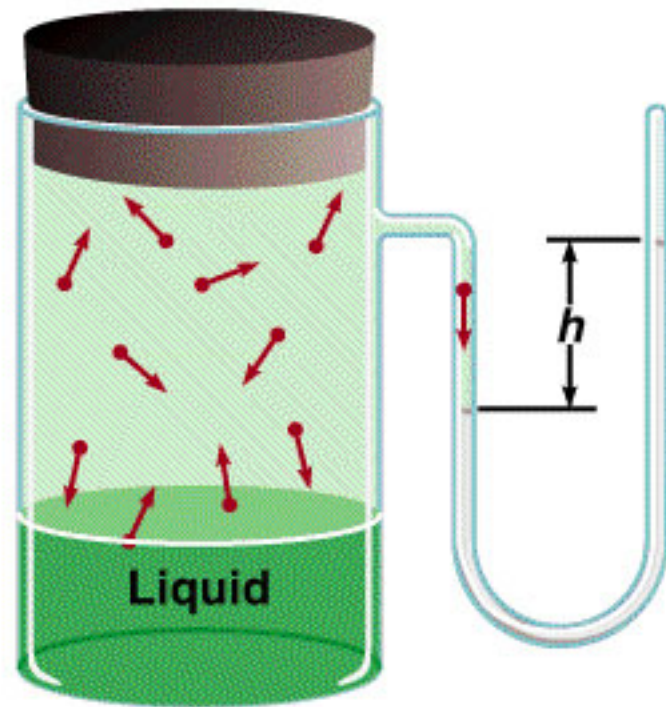
Tasa de condensación = Tasa de evaporación



Apparatus for Measuring the Vapor Pressure of a Liquid



Antes de la
evaporación



En
equilibrio

Calor molar de vaporización (ΔH_{vap}) es la energía requerida para vaporizar 1 mol de un líquido en su punto de ebullición.

Ecuación de Clausius-Clapeyron

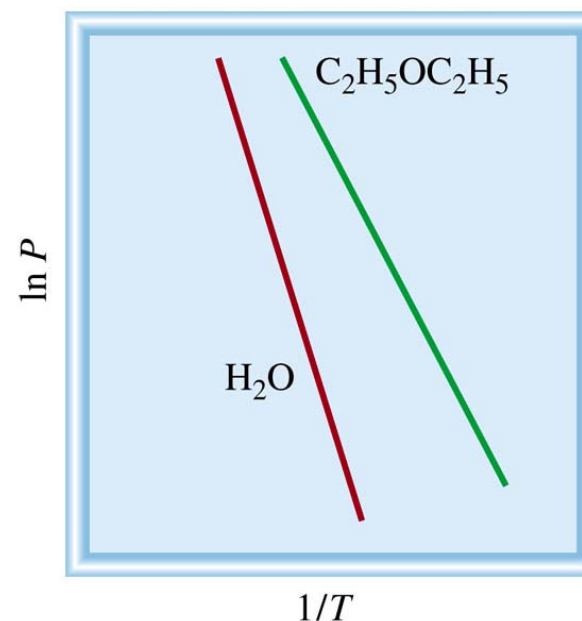
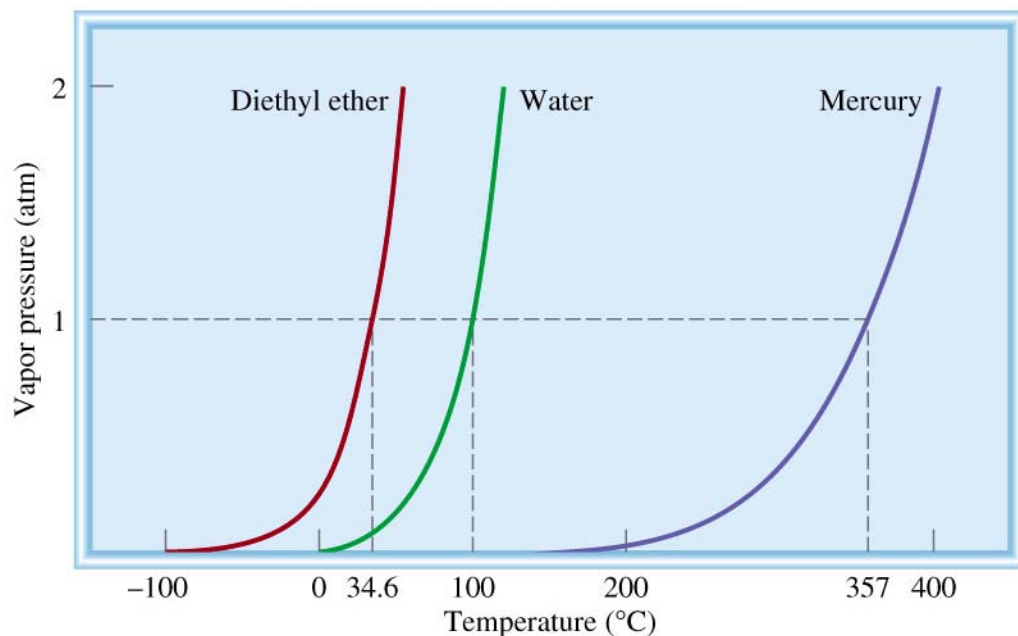
$$\ln P = - \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C$$

P = (equilibrio) presión de vapor

T = temperatura (K)

R = constante de gas (8.314 J/K•mol)

Presión de vapor contra temperatura



El **punto de ebullición** es la temperatura en la cual la presión de vapor (en equilibrio) de un líquido es igual a la presión externa.

El **punto de ebullición** normal es la temperatura en la cual un líquido hierve cuando la presión externa es de 1 atm.

TABLE 11.6 Molar Heats of Vaporization for Selected Liquids

Substance	Boiling Point* (°C)	ΔH_{vap} (kJ/mol)
Argon (Ar)	−186	6.3
Benzene (C ₆ H ₆)	80.1	31.0
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	78.3	39.3
Diethyl ether (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	34.6	26.0
Mercury (Hg)	357	59.0
Methane (CH ₄)	−164	9.2
Water (H ₂ O)	100	40.79

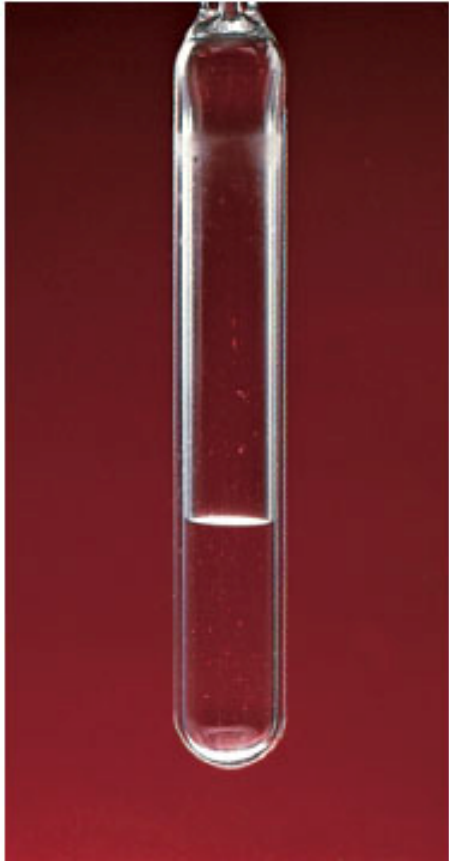
* Measured at 1 atm.

La **temperatura crítica** (T_c) es la temperatura por arriba de la cual el gas no puede licuarse, no importa cuán grande sea la presión aplicada.

La **presión crítica** (P_c) es la presión mínima que debe aplicarse para ocasionar licuefacción a la temperatura crítica.

Critical Temperatures and Critical Pressures of Selected Substances		
Substance	T_c (°C)	P_c (atm)
Ammonia (NH ₃)	132.4	111.5
Argon (Ar)	−186	6.3
Benzene (C ₆ H ₆)	288.9	47.9
Carbon dioxide (CO ₂)	31.0	73.0
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	243	63.0
Diethyl ether (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	192.6	35.6
Mercury (Hg)	1462	1036
Methane (CH ₄)	−83.0	45.6
Molecular hydrogen (H ₂)	−239.9	12.8
Molecular nitrogen (N ₂)	−147.1	33.5
Molecular oxygen (O ₂)	−118.8	49.7
Sulfur hexafluoride (SF ₆)	45.5	37.6
Water (H ₂ O)	374.4	219.5

El fenómeno crítico de SF_6



$$T < T_c$$



$$T > T_c$$

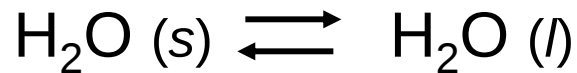


$$T \sim T_c$$

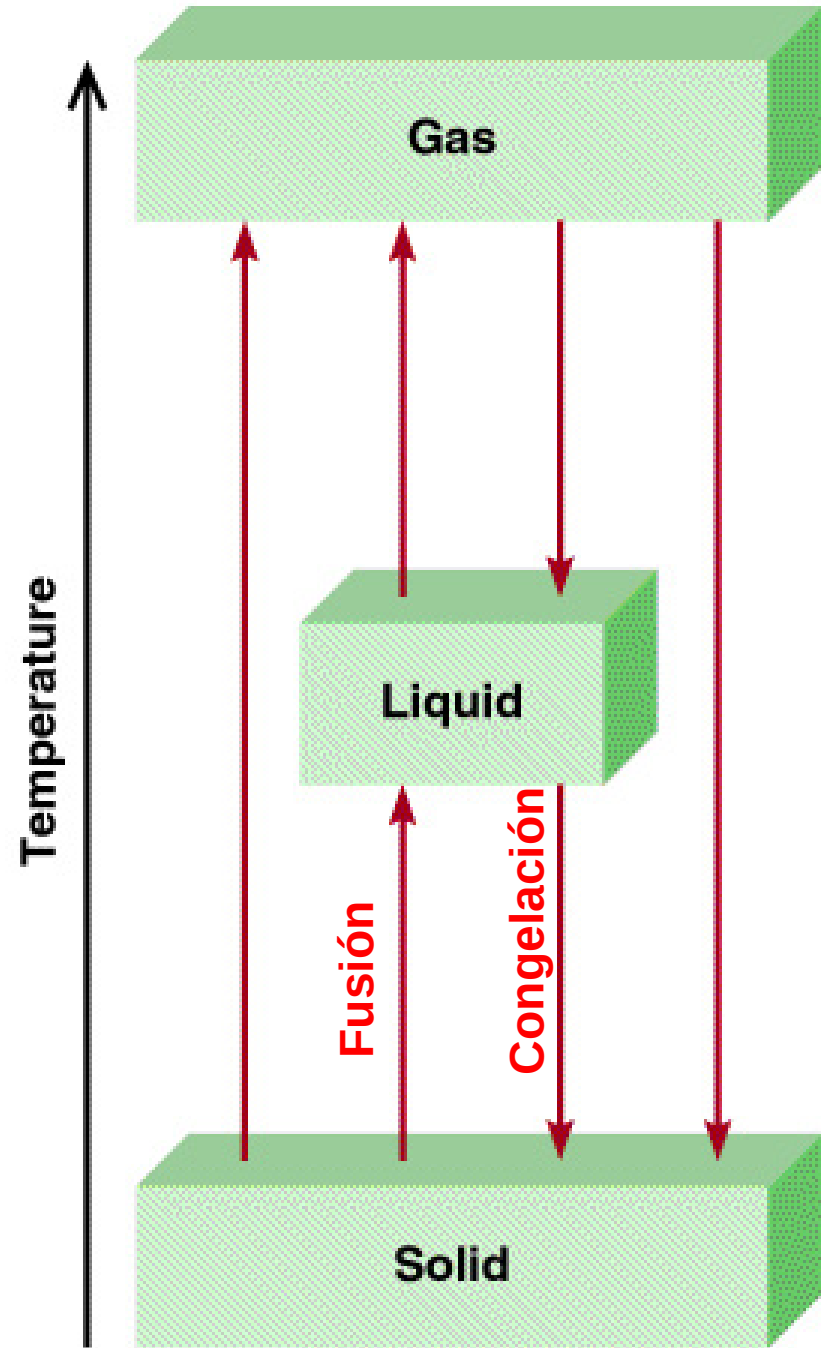


$$T < T_c$$

Phase Changes



El ***punto de fusión*** de un sólido o el ***punto de congelación*** de un líquido es la temperatura en la cual las fases sólida y líquida coexisten en equilibrio.



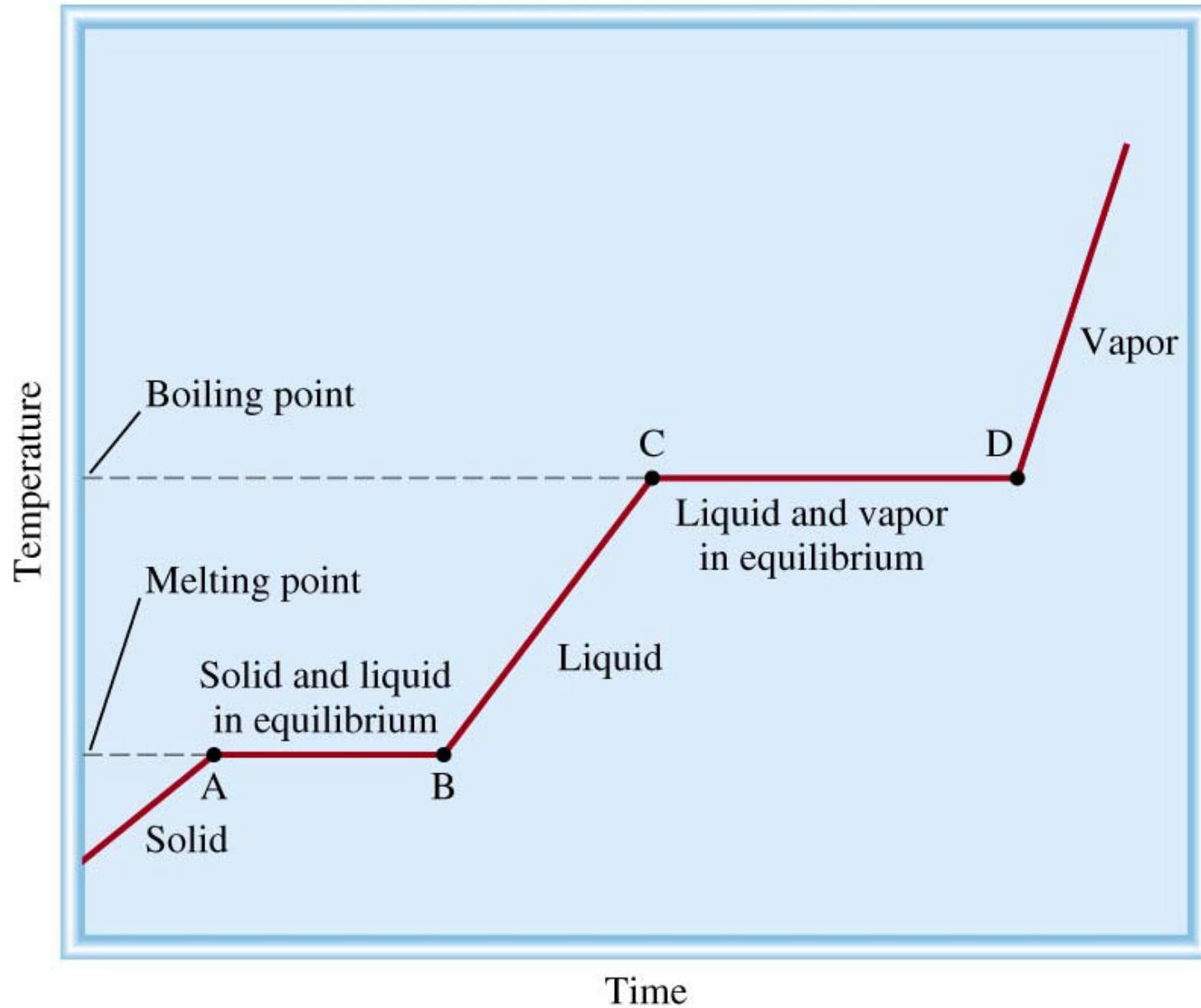
Calor molar de fusión (ΔH_{fus}) es la energía requerida para fundir 1 mol de una sustancia sólida en su punto de congelación.

TABLE 11.8 Molar Heats of Fusion for Selected Substances

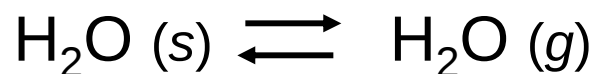
Substance	Melting Point* (°C)	ΔH_{fus} (kJ/mol)
Argon (Ar)	−190	1.3
Benzene (C ₆ H ₆)	5.5	10.9
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	−117.3	7.61
Diethyl ether (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	−116.2	6.90
Mercury (Hg)	−39	23.4
Methane (CH ₄)	−183	0.84
Water (H ₂ O)	0	6.01

*Measured at 1 atm.

Curva de calor



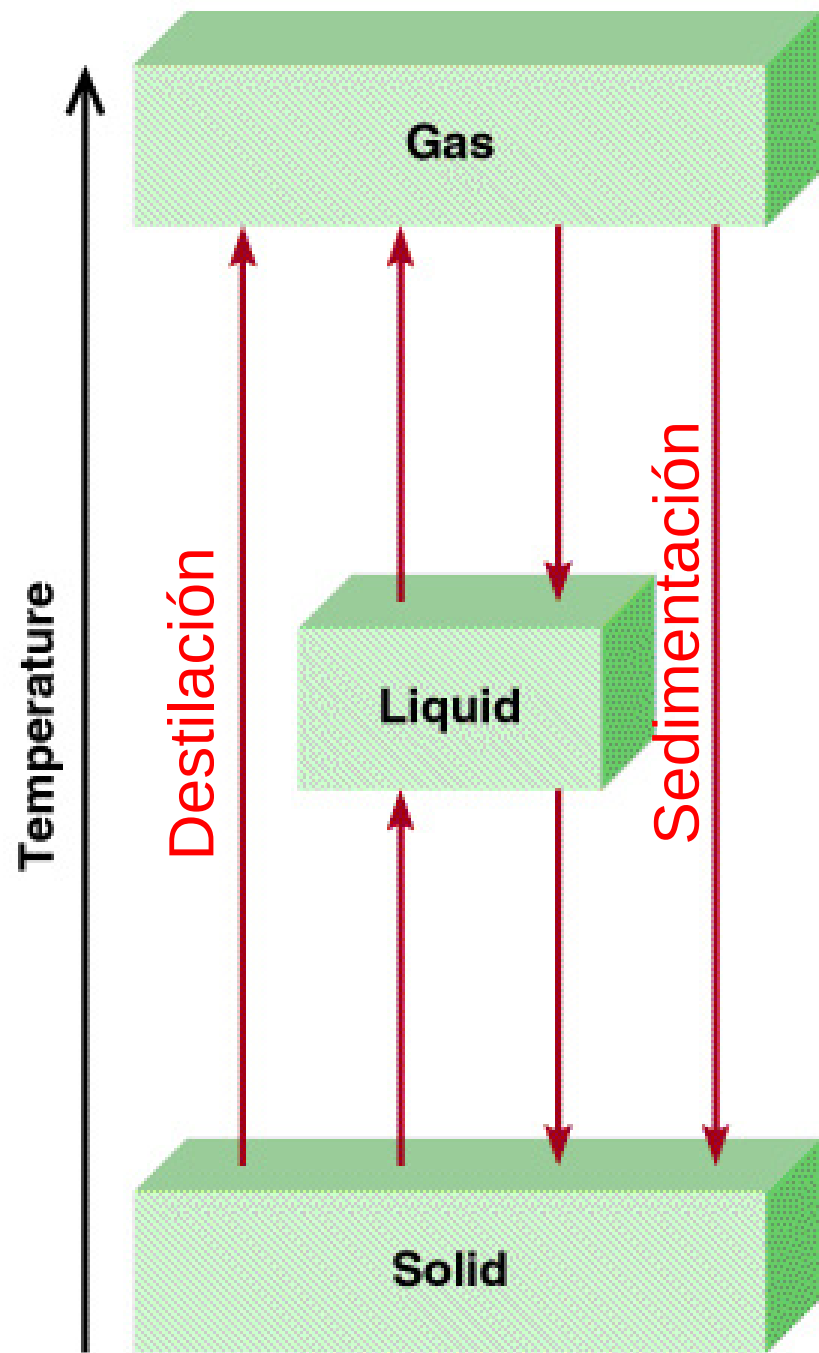
Phase Changes



Calor molar de destilación (sublimación) (ΔH_{sub}) es la energía requerida para destilar 1 mol de un sólido.

$$\Delta H_{\text{sub}} = \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$$

(Ley de Hess)



Un ***diagrama de fases*** resume las condiciones en las cuales una sustancia existe como sólido, líquido o gas.

Diagrama de fases del agua

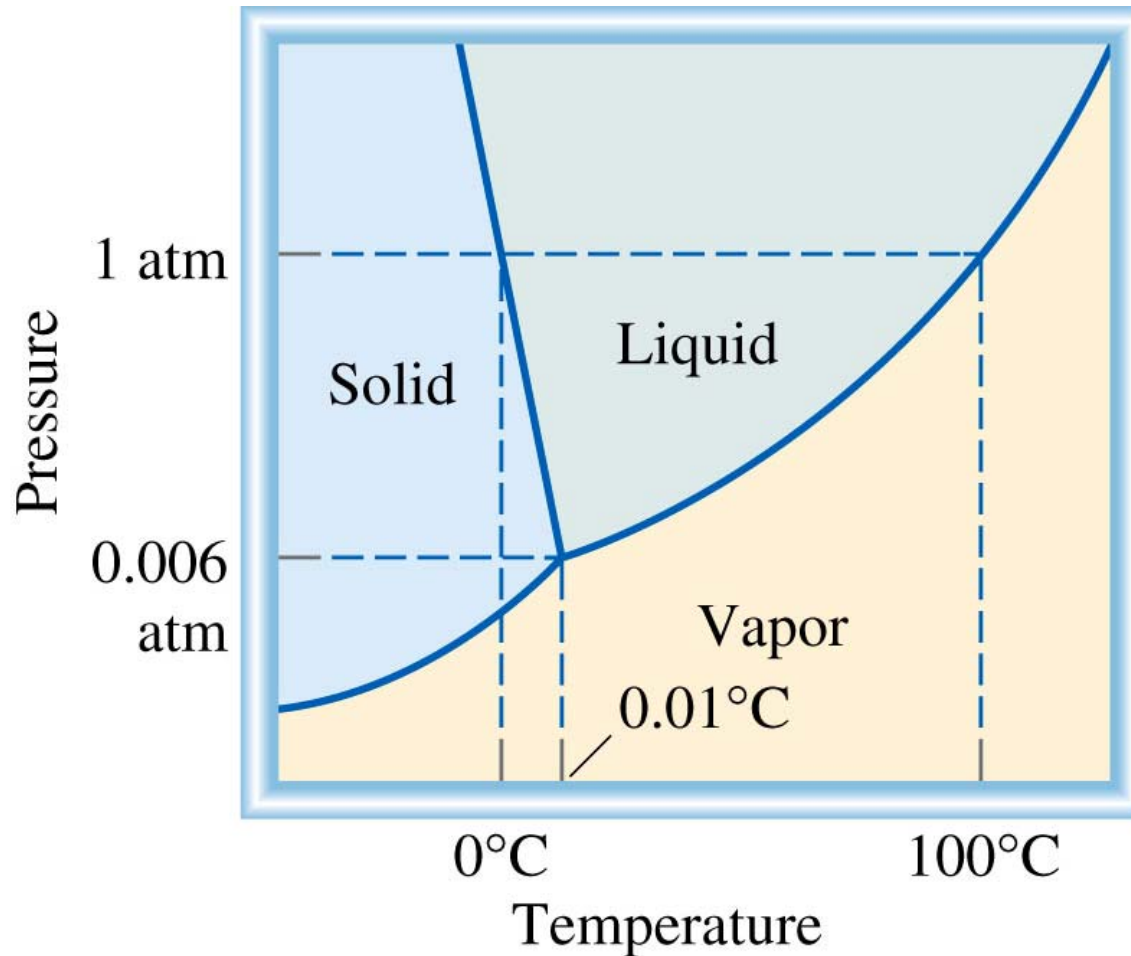
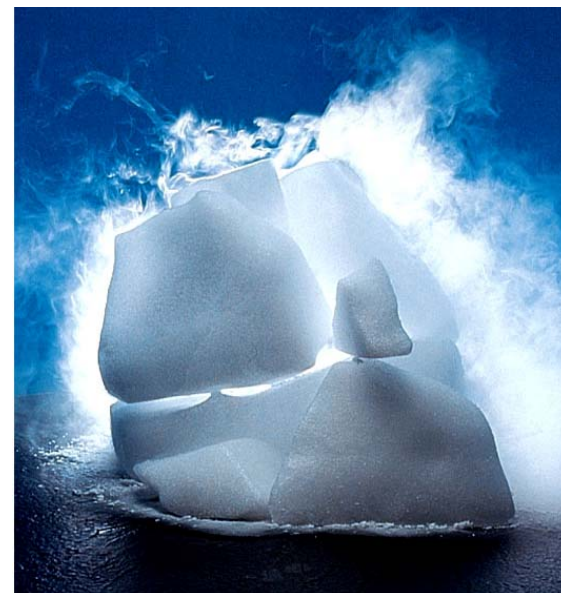
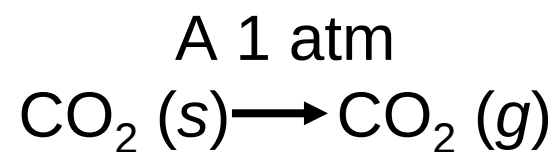
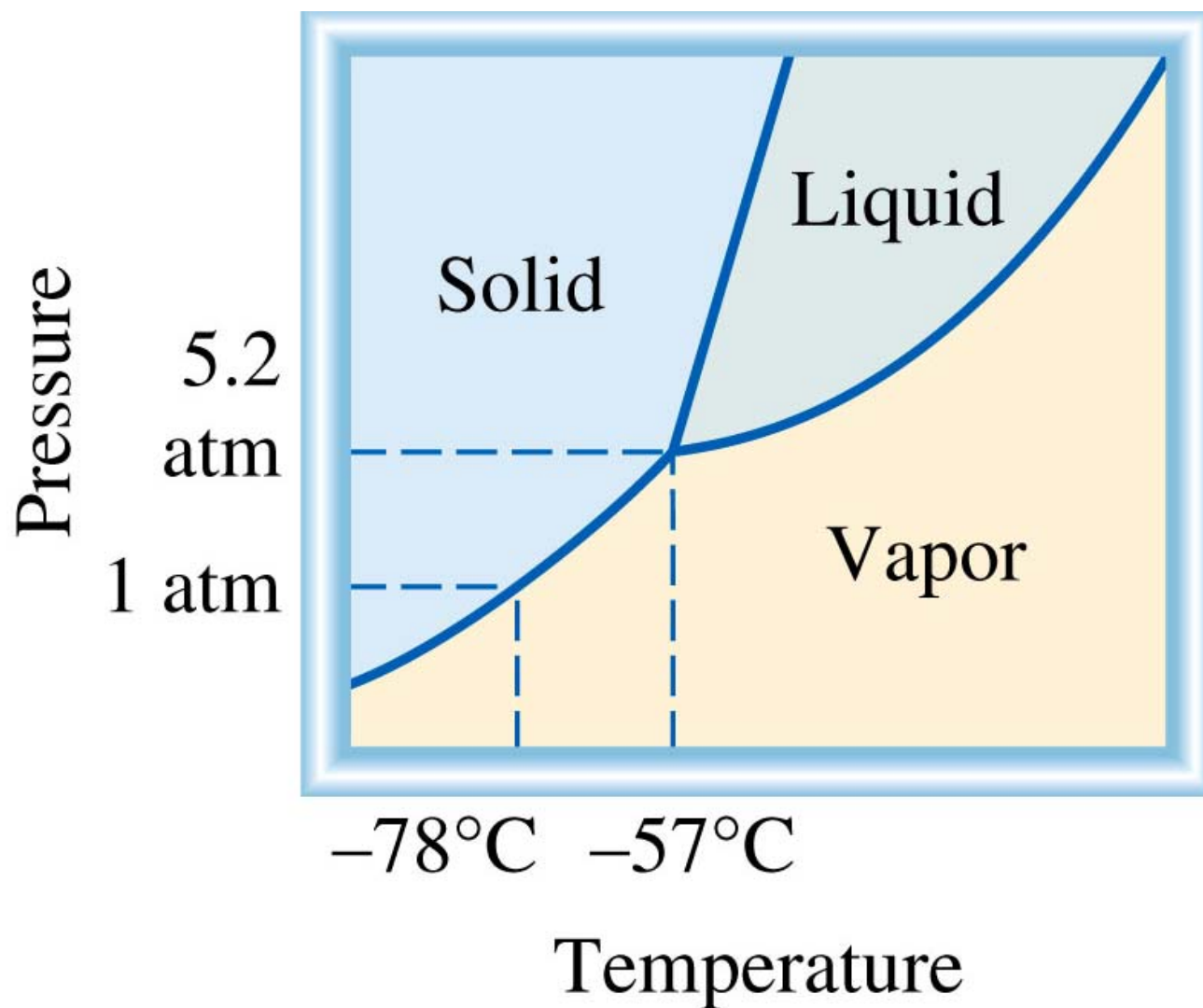


Diagrama de fases del bióxido de carbono



Efecto del aumento de la presión en el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua

