

Introdução à Física do Estado Sólido

Física Moderna II-B

Caetano R. Miranda

AULA 5 – 01/09/2022

Carlos A. Martins Jr.



sampa



crmiranda@usp.br

Cronograma

CRONOGRAMA TENTATIVO - Introdução à Física do Estado Sólido - Física Moderna IIB - 2S 2022						
DATA	aula n°	Segundas (19h - 21h) - Sala 2001 - Ala Central	aula n°	Quartas (21h - 23h) - Sala 2001 - Ala Central	DATA	
15-Aug			1	Apresentação - Curso	18-Aug	
22-Aug	2	Revisão - Partículas e ondas - Chocolate	3	Átomos e Ions (Elétrons em átomos) - Tabela Periódica	25-Aug	
29-Aug	4	Átomos e Ions (Elétrons em átomos) - Simulação	5	Moléculas e sólidos (Elétrons em sólidos) - impressão 3D	01-Sep	
05-Sep	Feriado	Independência do Brasil. Não haverá aula.	Feriado	Independência do Brasil. Não haverá aula.	08-Sep	
12-Sep	6	Ordem e Simetria	7	Ondas em cristais – Estruturas cristalinas - Corte/Colar - Origem	15-Sep	ENTREGA 1
19-Sep	8	Estruturas - Átomos em cristais - VR1	9	Estruturas - Átomos em cristais - VR2	22-Sep	
26-Sep	10	Vibrações térmicas e Fônons	11	Vibrações térmicas e Fônons - Sonificação	29-Sep	
03-Oct	12	Elétrons livres	13	Elétrons livres	06-Oct	
10-Oct	14	Condutividade elétrica e teoria de bandas	15	Condutividade elétrica e teoria de bandas	13-Oct	ENTREGA 2
17-Oct	16	Semicondutores	17	Semicondutores - VR3	20-Oct	
24-Oct	18	Junção PN - Criação Jogos	19	Junção PN	27-Oct	
31-Oct	20	Magnetismo	21	Magnetismo	03-Nov	
7/11	22	Supercondutividade	23	Supercondutividade	10-Nov	ENTREGA 3
14/11	Feriado	Dia - República. Não haverá aula.	24	Projeto - Escolha do Tema / Oficina - Infográfico	17-Nov	
21/11	25	Nanotecnologia	26	Nanotecnologia	24-Nov	
28/11	27	Materiais quânticos	27	Materiais quânticos	01-Dec	
05-Dec	29	PROJETO	30	PROJETO	08-Dec	PROJETO
12-Dec	31	Vistas - Notas	32		15-Dec	

Aula anterior (29/08/2022)

FÍSICA IV

ÓTICA E FÍSICA MODERNA

14e

YOUNG & FREEDMAN
SEARS & ZEMANSKY

The periodic table and the physics that drives it

Article in Nature Reviews Chemistry · June 2020
DOI: 10.1038/s41570-020-0195-y

CITATIONS
44

READS
2,308

3 authors:



Peter Schwerdtfeger
Massey University
442 PUBLICATIONS 16,007 CITATIONS
[SEE PROFILE](#)



Odile Smits
Massey University, Auckland
18 PUBLICATIONS 196 CITATIONS
[SEE PROFILE](#)



Pekka Pyykkö
University of Helsinki
374 PUBLICATIONS 30,238 CITATIONS
[SEE PROFILE](#)

TEachEngineering
Ignite STEM learning in K-12

Brought to you by Engineering UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER

Search

Browse Curriculum K-12 Engineering Math & Physics NGSS Engineering Design Popular Topics Prof Dev Workshops Standards About

TEachEngineering > Activities > Engineering and the Periodic Table

HANDS-ON ACTIVITY
Engineering and the Periodic Table
★★★★☆ (1 Rating)
[Click here to rate](#)

Engineering and the Periodic Table
Engineering & the Periodic Table

Quick Look

GRADE LEVEL: 6 (5-7)
TIME REQUIRED: 1 hour
GROUP SIZE: 2
SUBJECT AREAS: Chemistry, Physical Science
NGSS PERFORMANCE EXPECTATIONS: MS-PS1-1

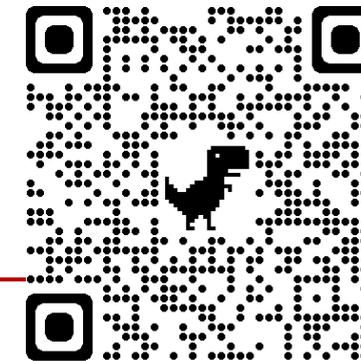
[Print this activity](#)
[Suggest an edit](#)
[Discuss this activity](#)



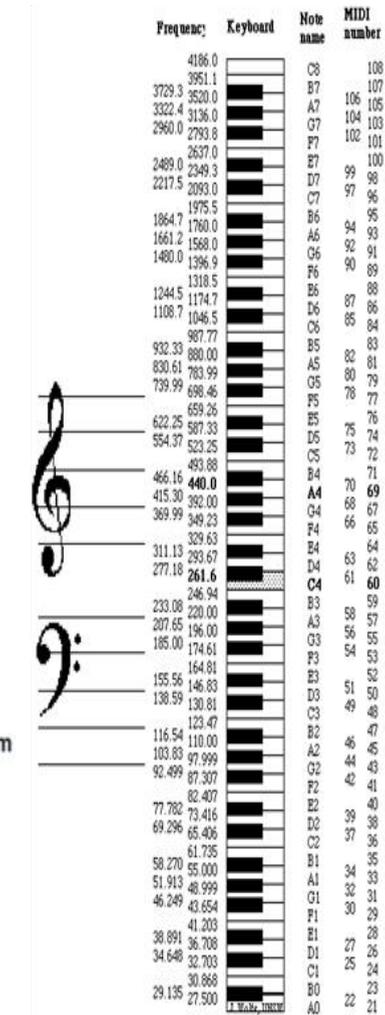
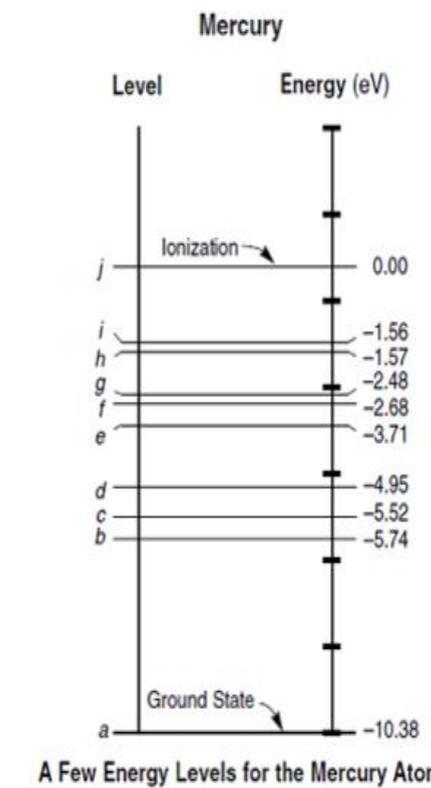
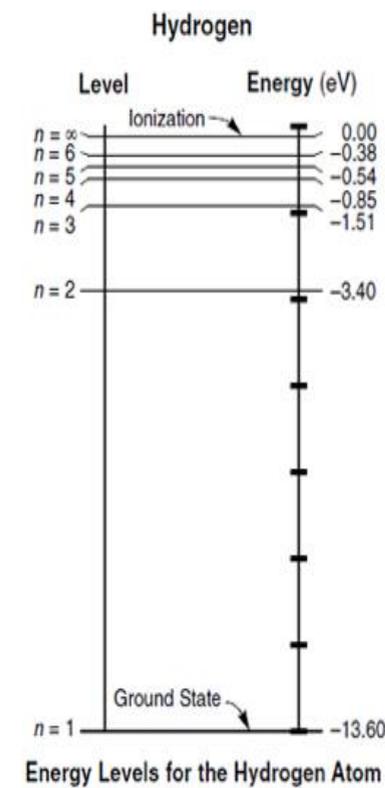
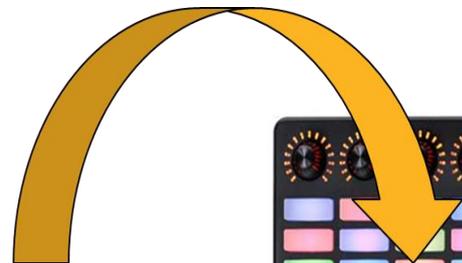
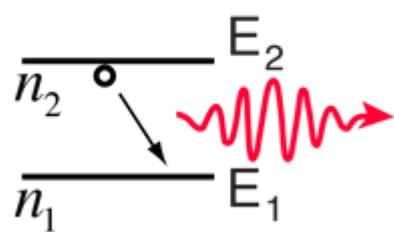
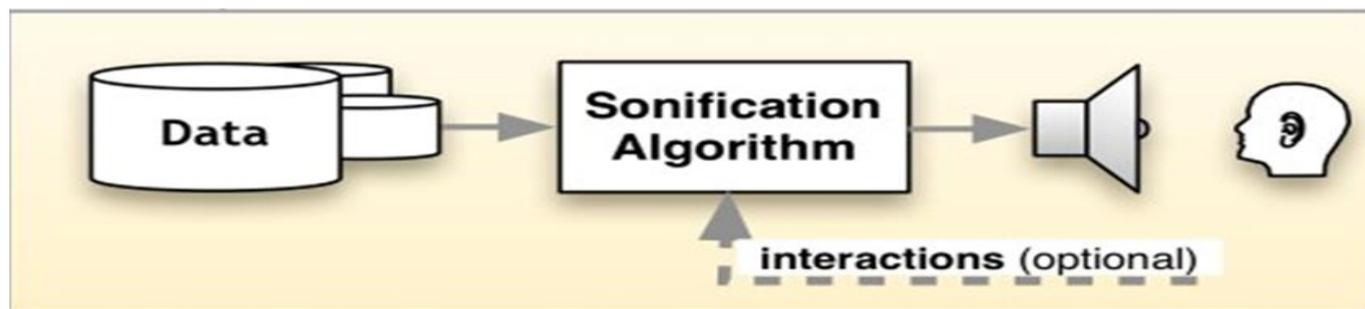
Objetivos:

- 1) Átomos e comportamento químico
- 2) Tabela Periódica (Música & Jogos)
- 3) Natureza das ligações químicas

Cri@tividade e Física Perceptiva



Novas maneiras de “ver”, “ser” e “interagir”
Realidade Virtual, Sonificação



Periodic Table of the Elements

1	2											13	14	15	16	17	18
1	2											13	14	15	16	17	18
3	4											13	14	15	16	17	18
11	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
7	Fr	Ra	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
6	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	6	
7	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	7	

Alkali Metals Alkali Earth Metals Transition Metals Other Metals Metalloids
 Other Non Metals Halogens Noble Gases Lanthanides & Actinides

$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{m_r Z^2 e^4}{2n^2 \hbar^2} = -\frac{Z^2}{n^2} (13,6 \text{ eV})$$

Com Gustavo Chagas e Paulo Vitor

Objetivos de ensino

1. Identificar os elementos e suas características
2. Relacionar propriedades sonoras entre grupos e períodos
3. Compor música através da tabela periódica

somifusp.wixsite.com/criatividade/tabela-periodica

Objetivos

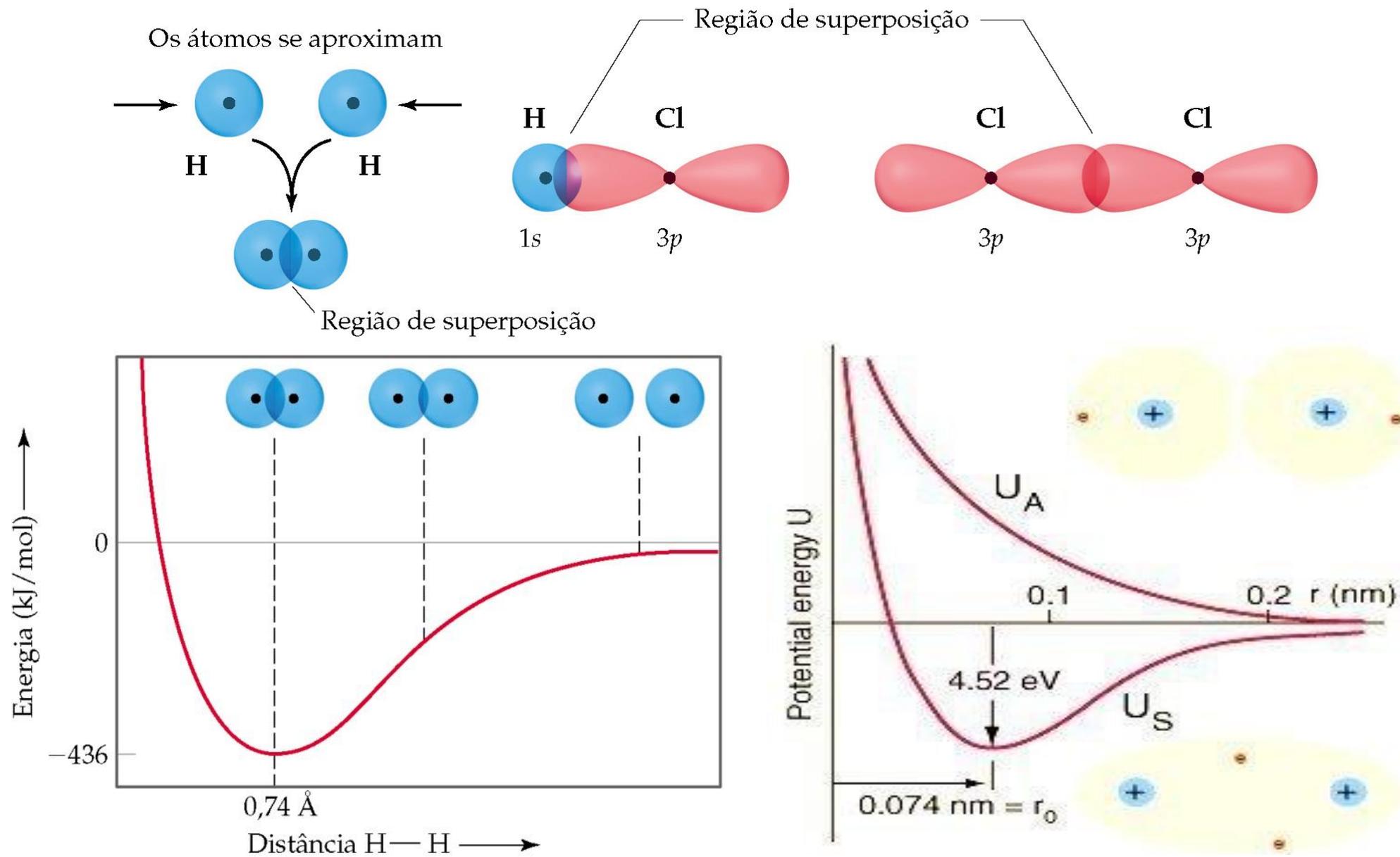
Explorar e compreender as propriedades dos elementos por meio de um jogo de adivinhação de elementos e de criação de super-herói

Jogos:

1. Adivinhe os elementos, a partir de suas propriedades
2. Crie um super-herói que apresente os superpoderes de um elemento em específico.
3. Combine esse herói com outro, criando uma molécula



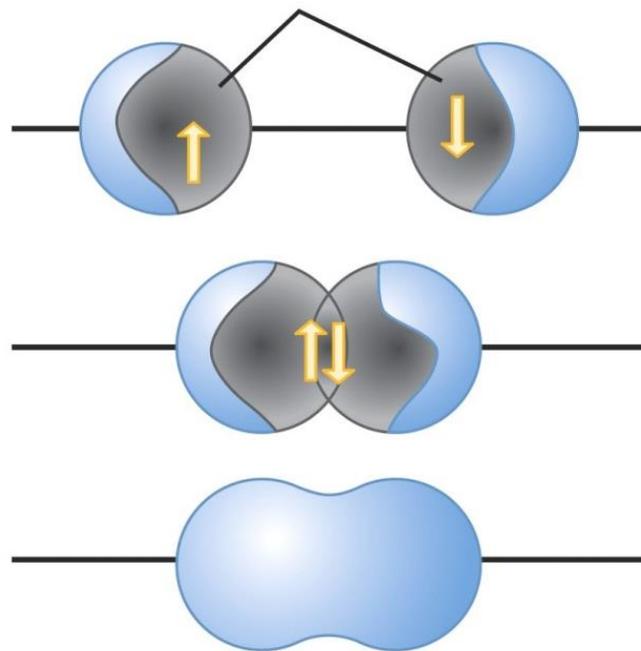
Ligações Químicas (Orbitais Moleculares)



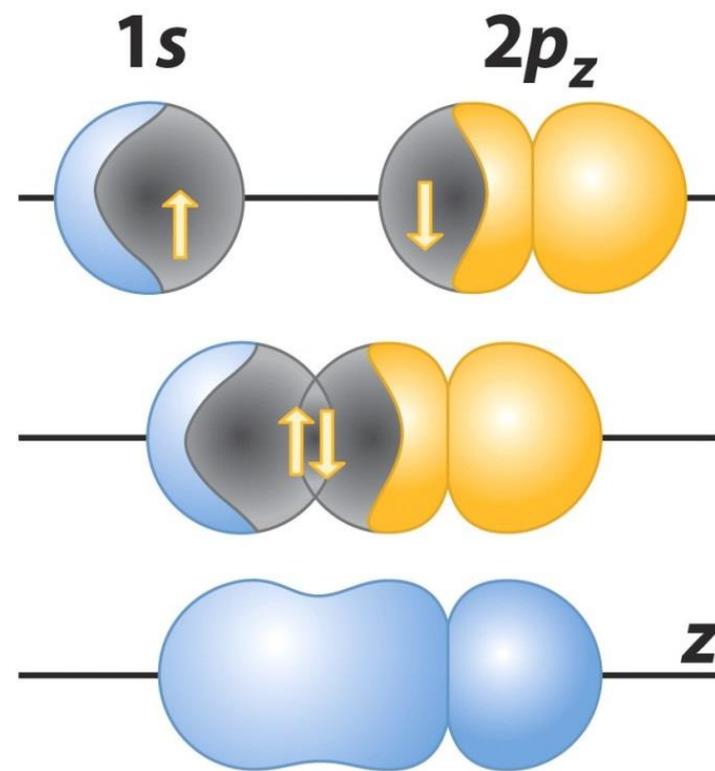
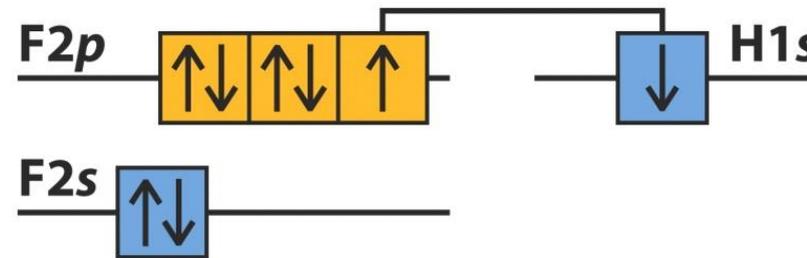
Ligação tipo σ (sigma)

H_2 : superposição de 2 orbitais s

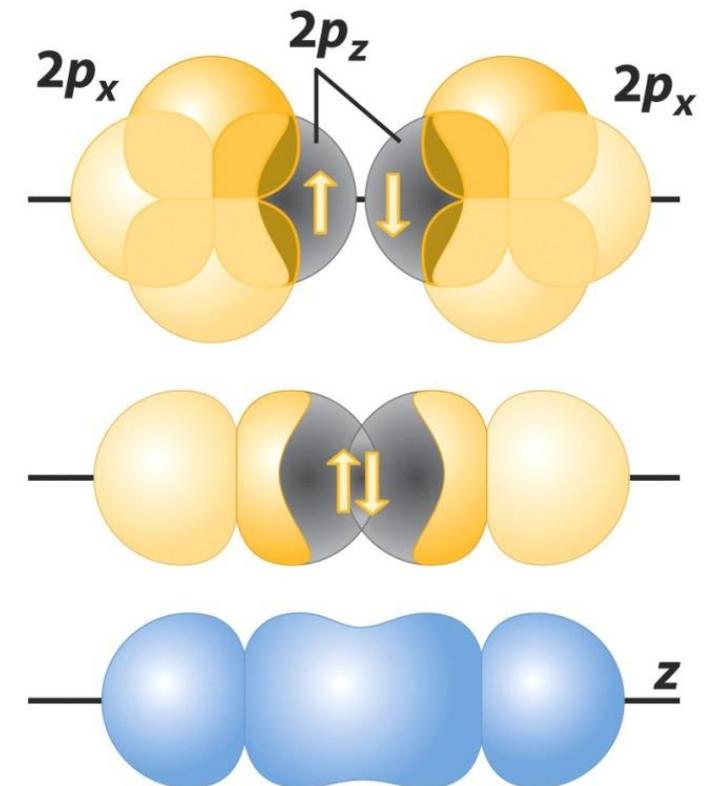
Orbitais atômicos



HF: superposição de 1 orbital s e 1 orbital p



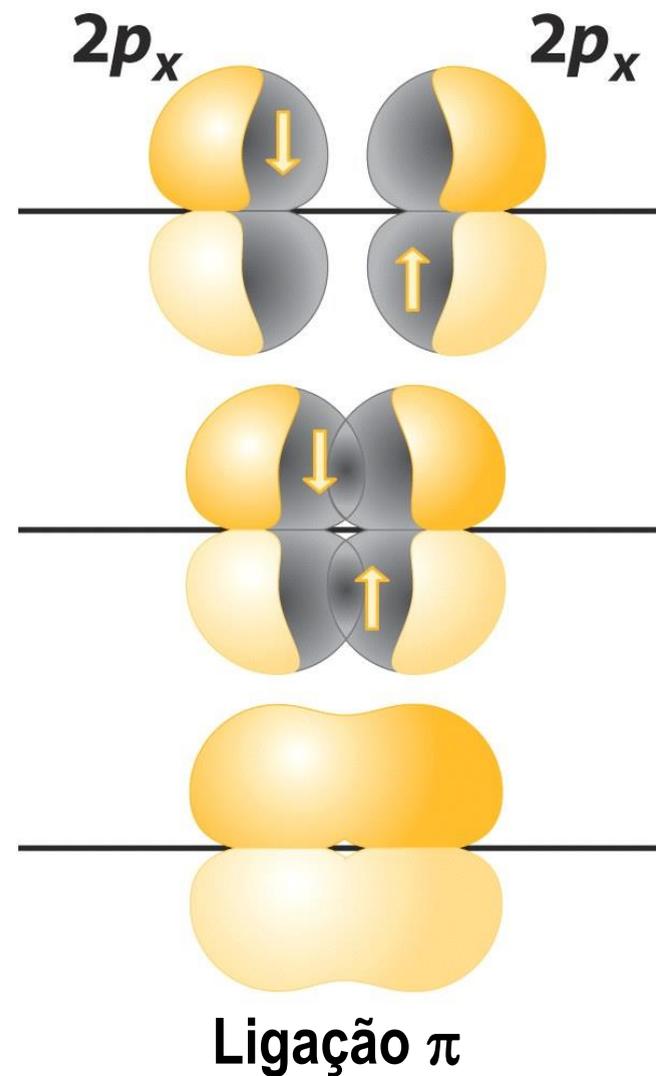
Superposição de 2 orbitais p (cabeça-cabeça)



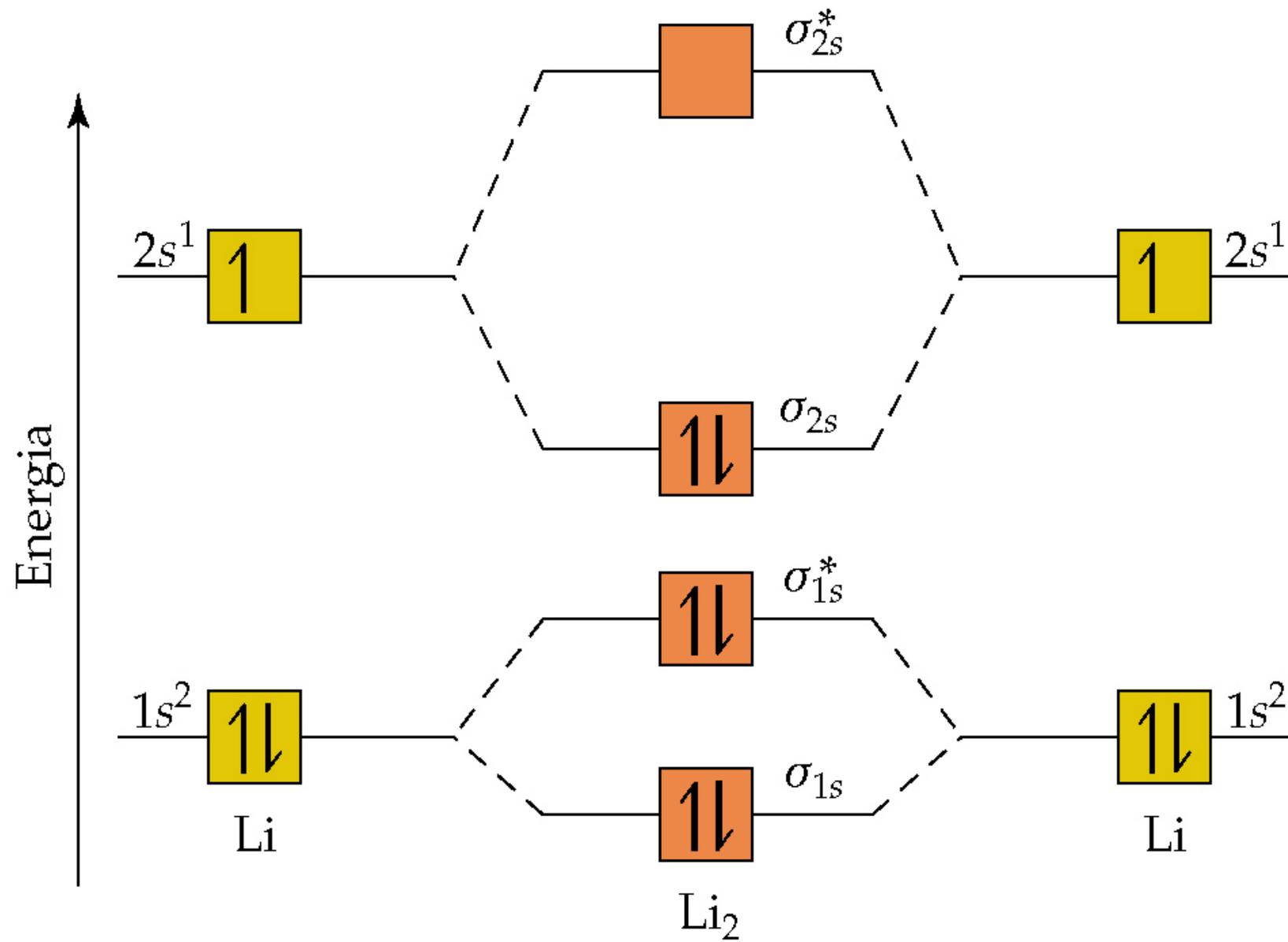
Eixo internuclear

Ligações tipo π (pi)

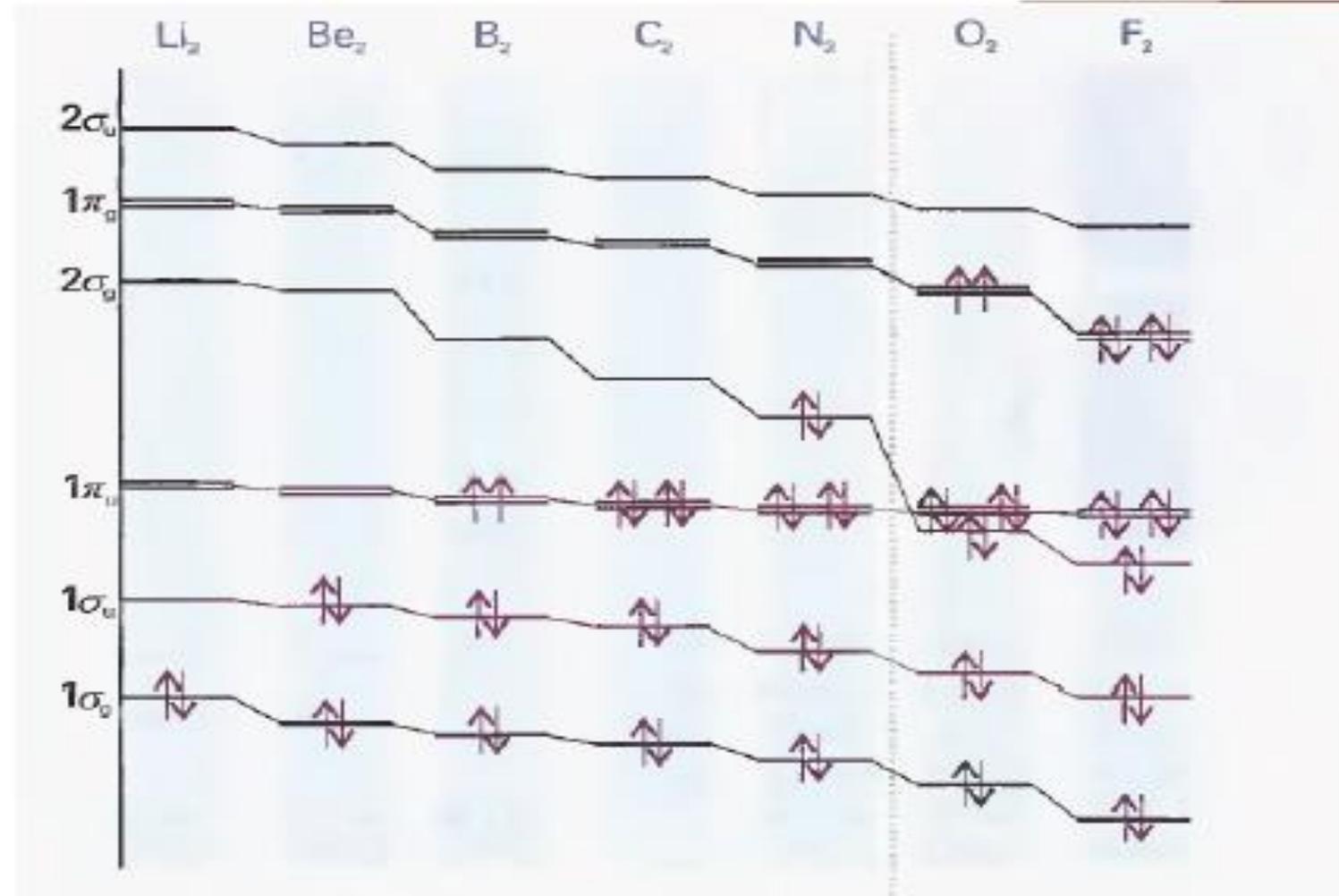
Superposição lateral de 2 orbitais p



Formação dos Orbitais Moleculares

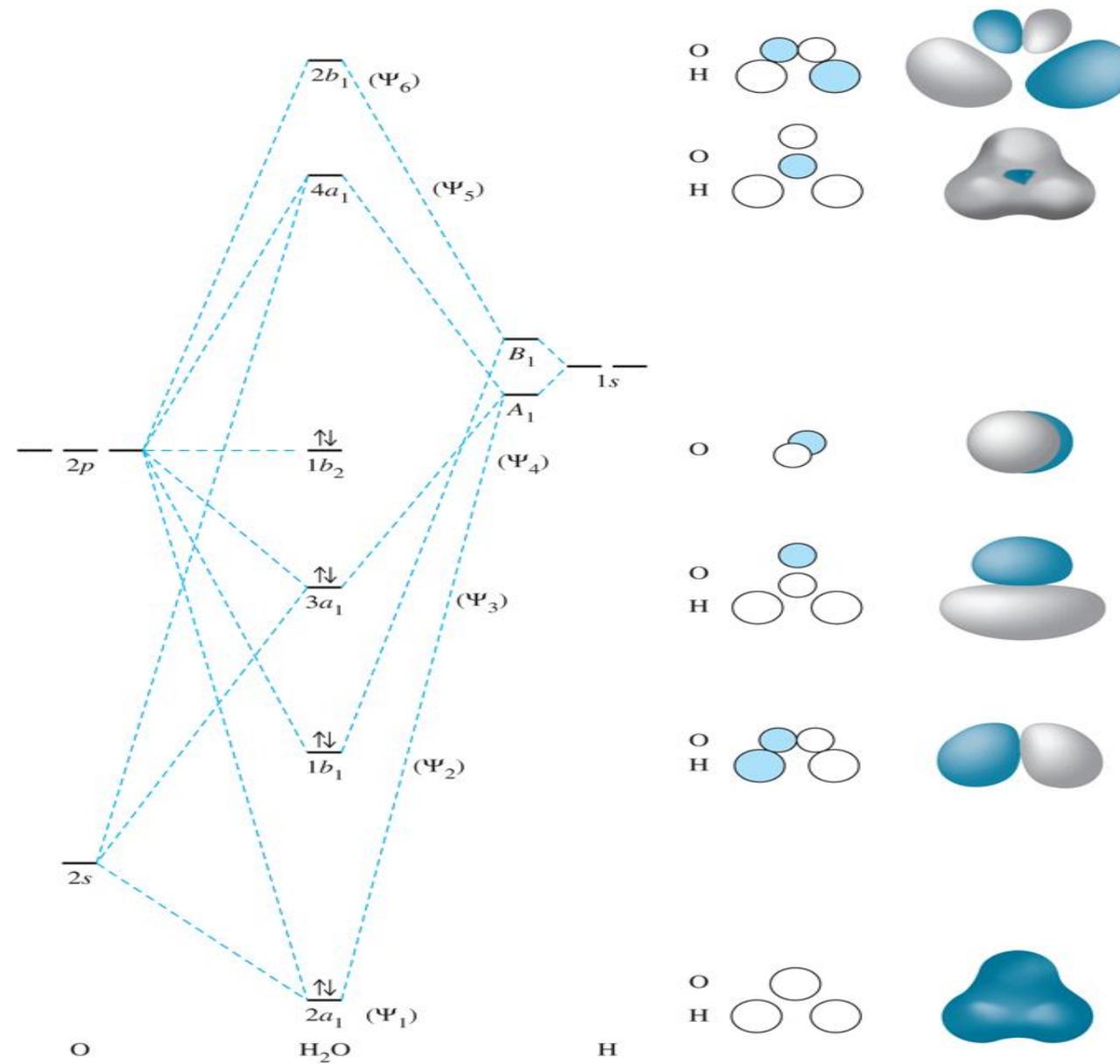


Teoria do orbital molecular – moléculas diatômicas



A ordem depende da diferença entre as energias dos orbitais 2s e 2p no átomo.

Caso da água – H₂O



Interações interatômicas

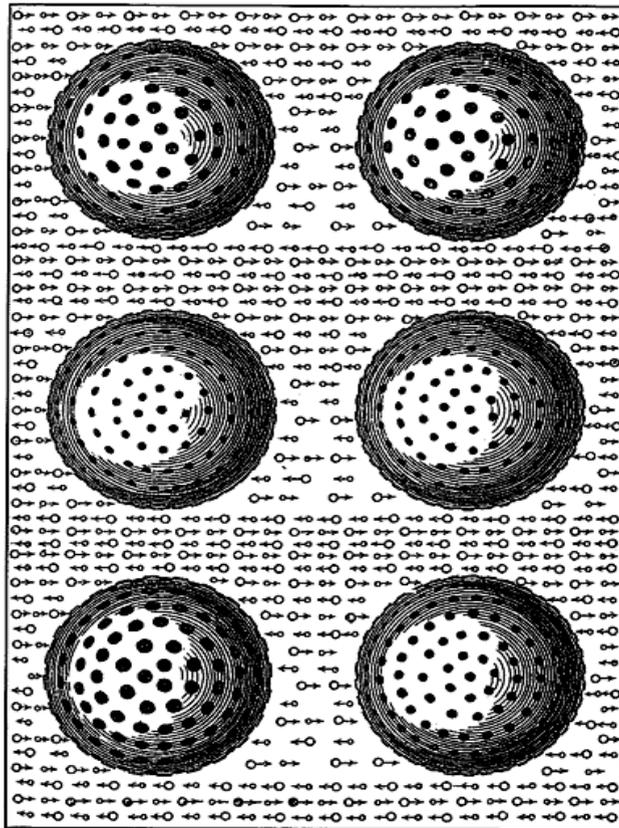
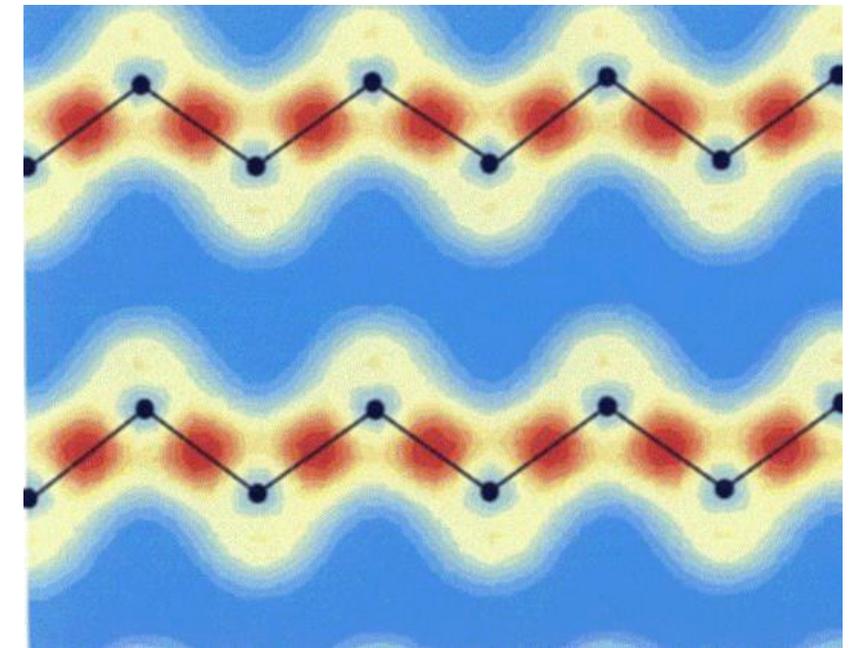
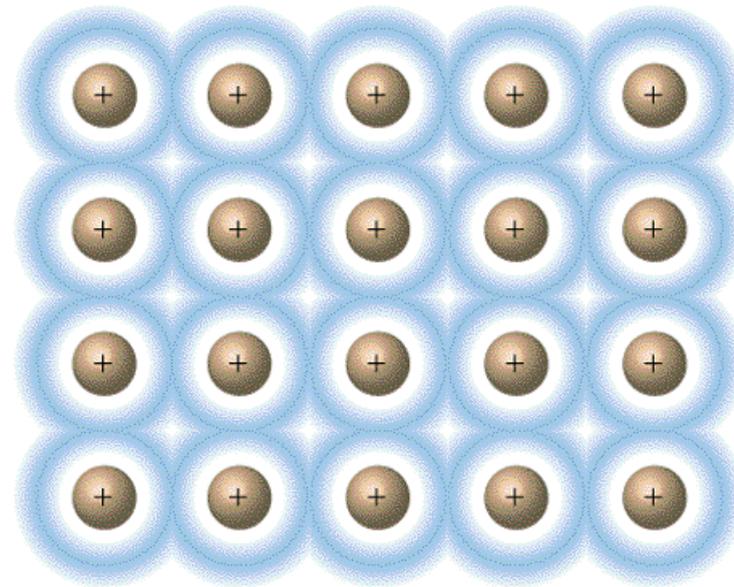
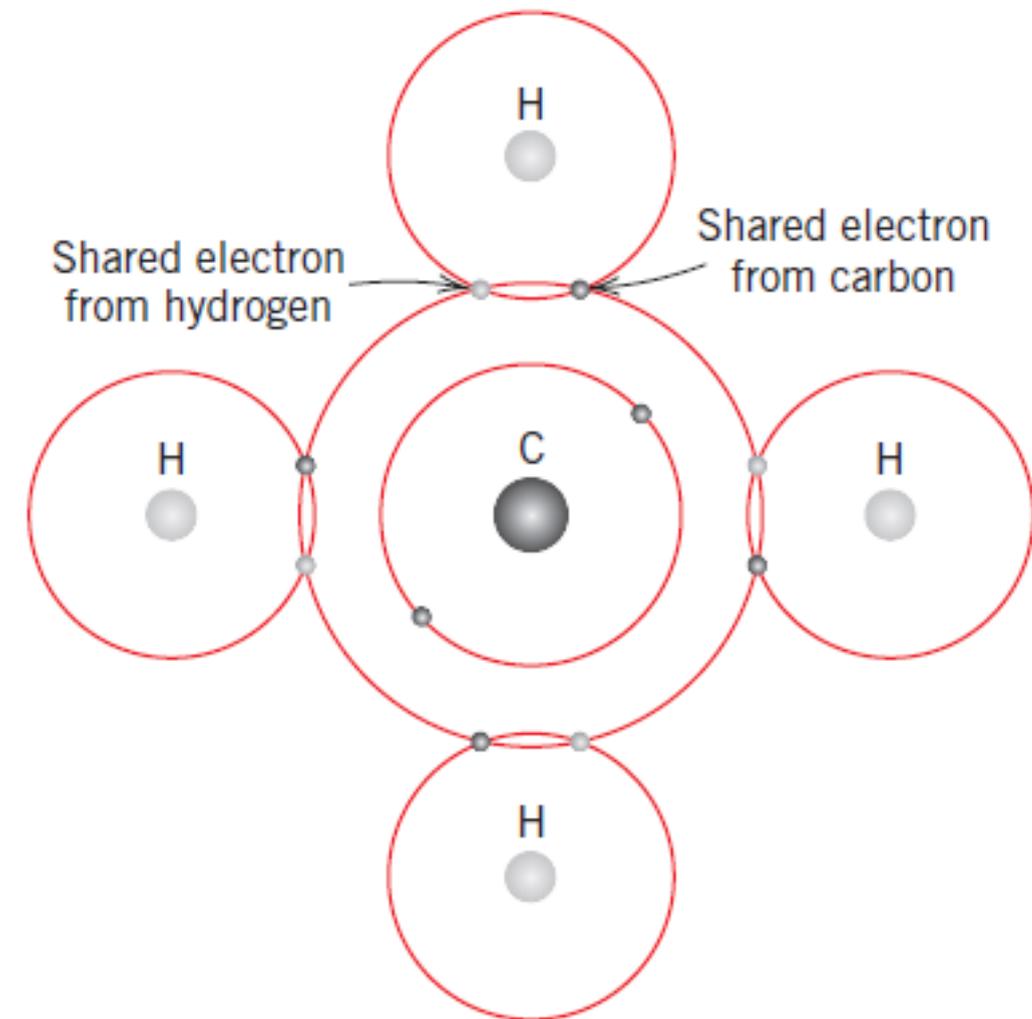
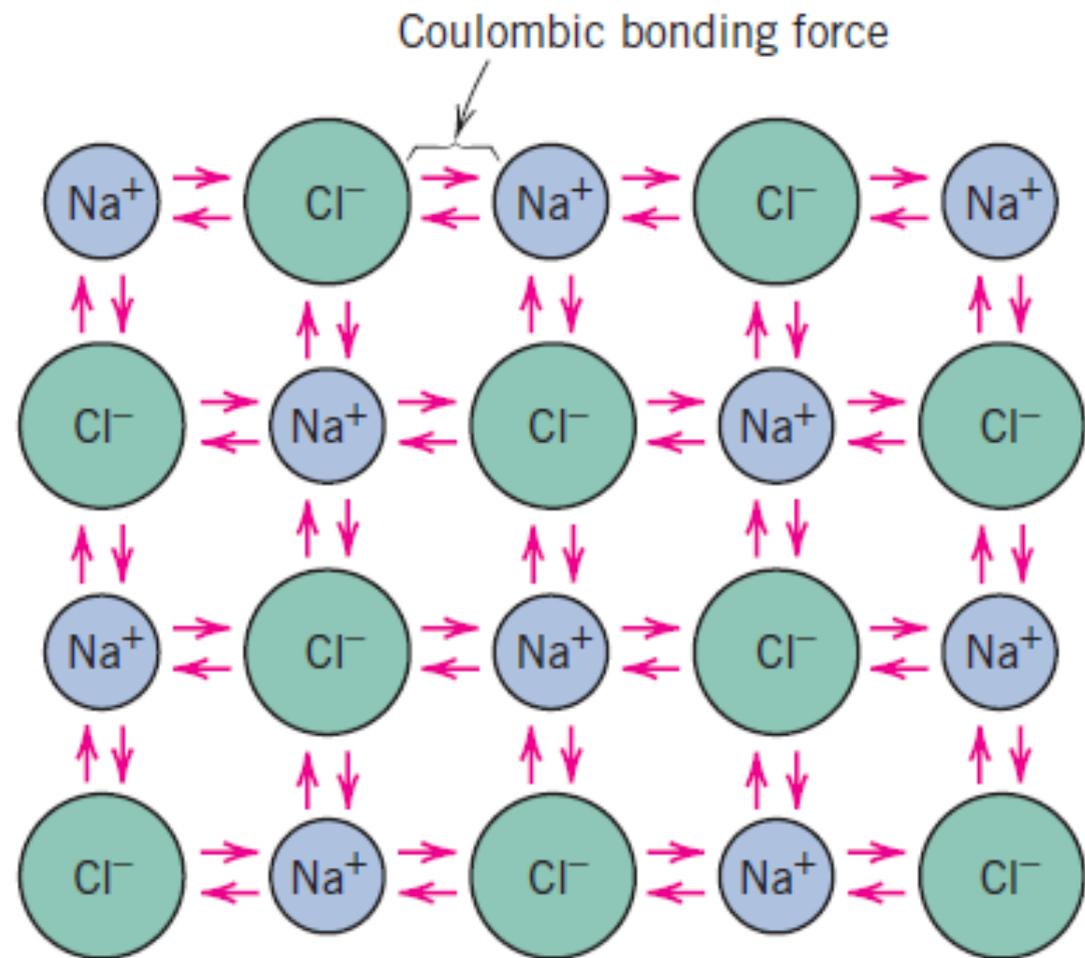


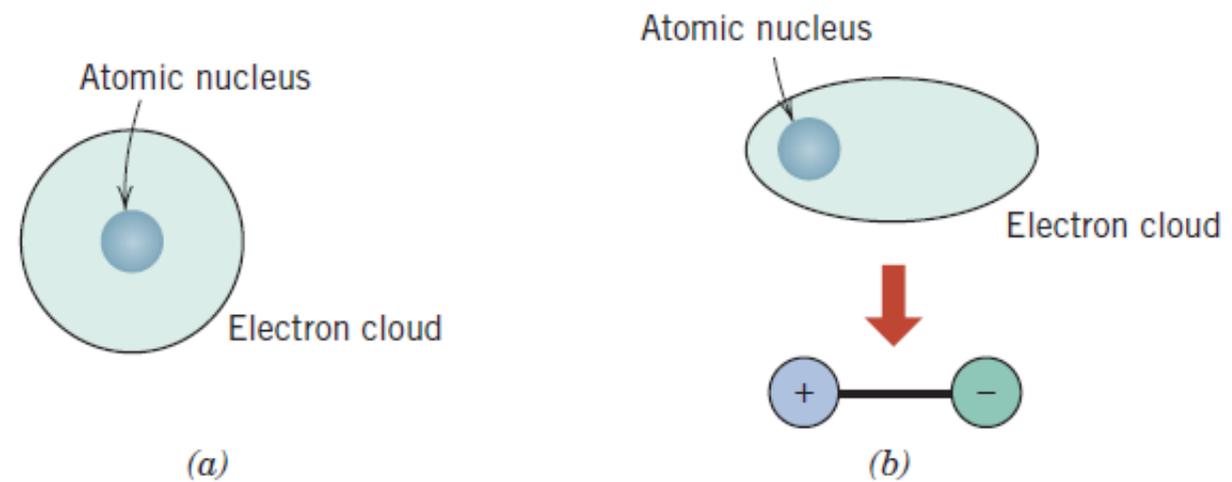
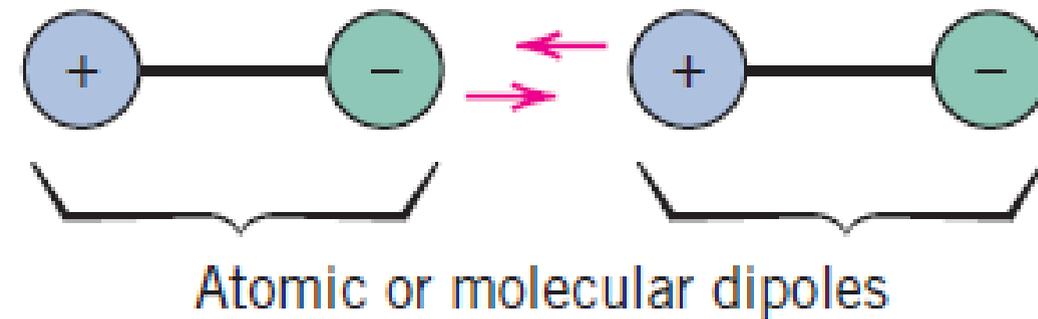
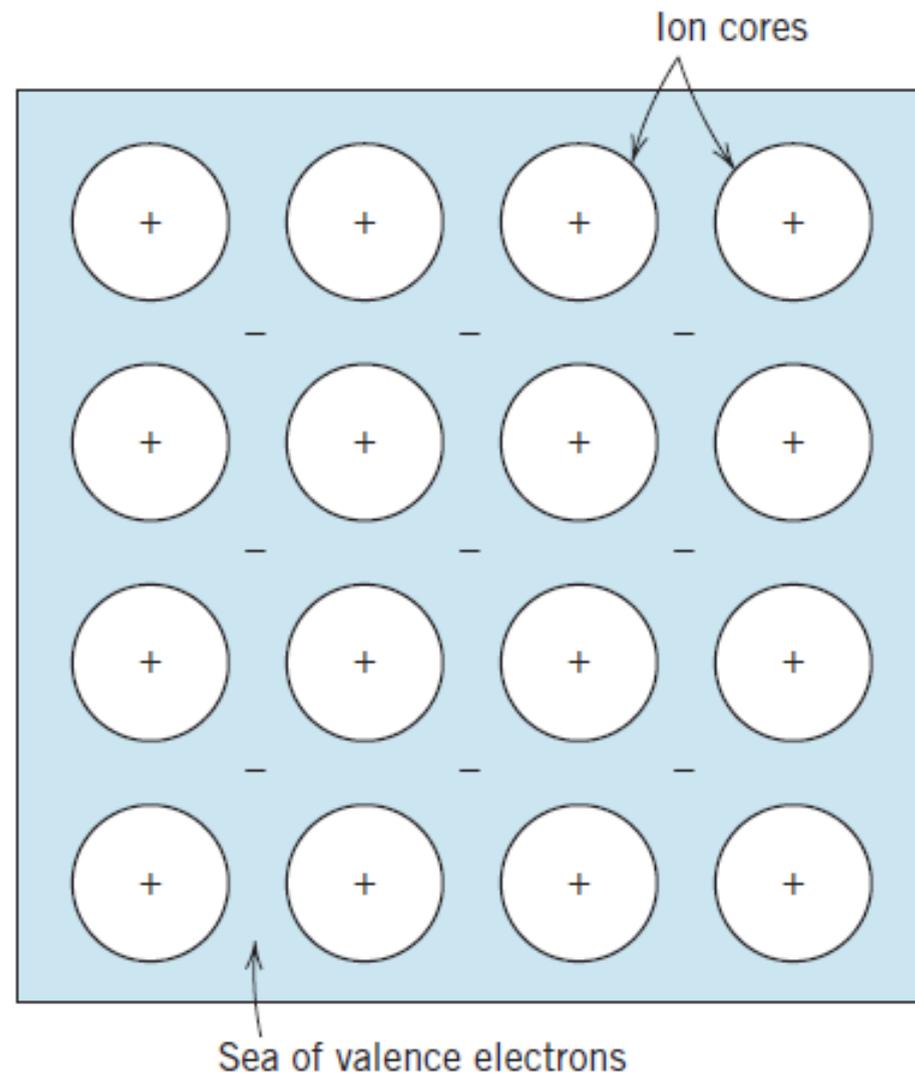
Fig. 2.2 Le Sage's picture of attraction between particles of matter [249].



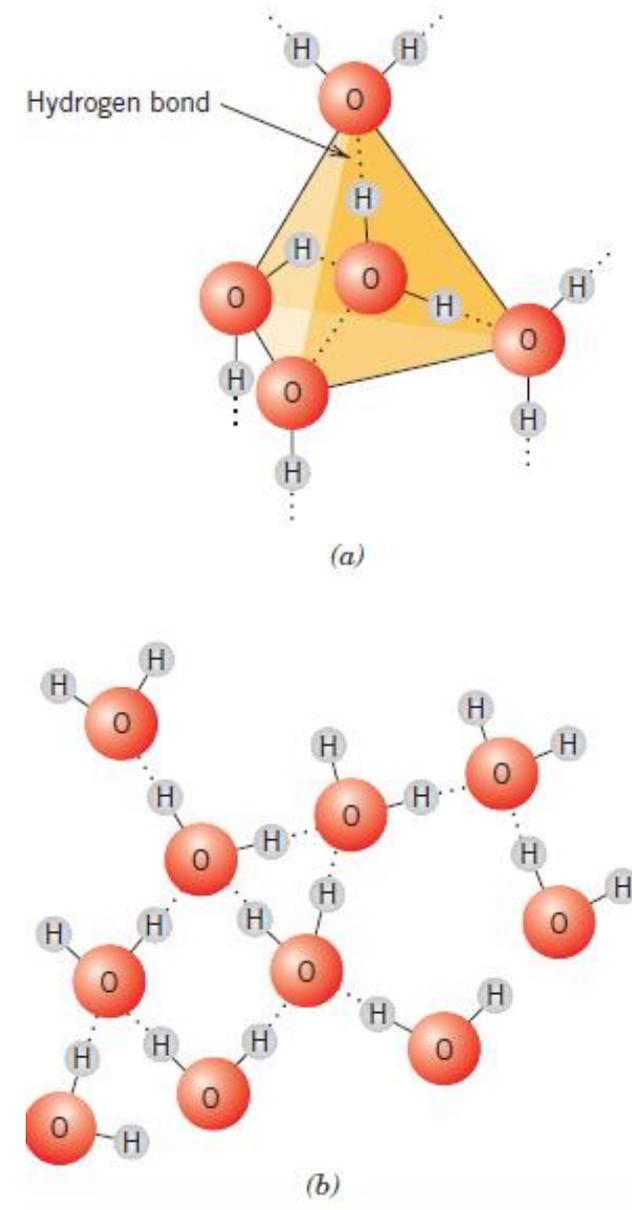
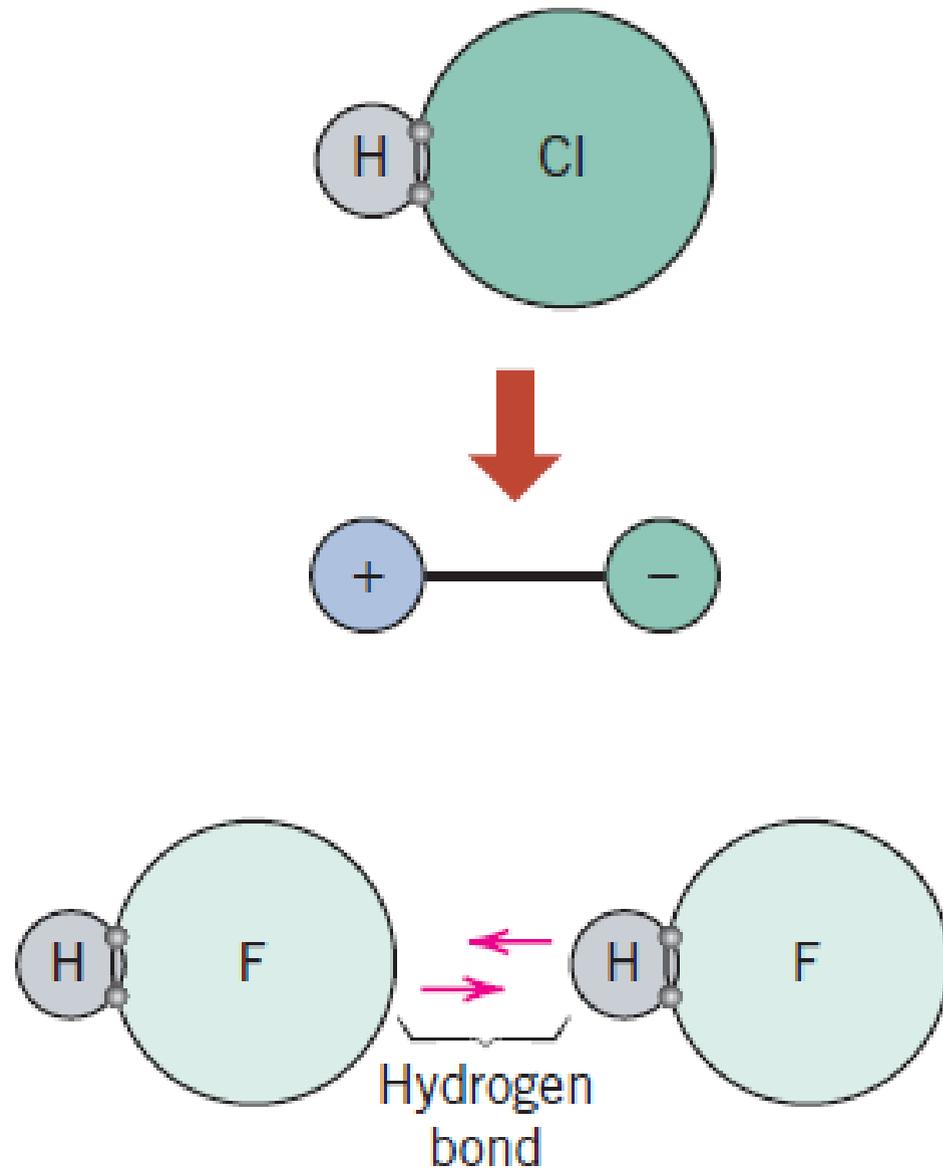
Tipos de ligação



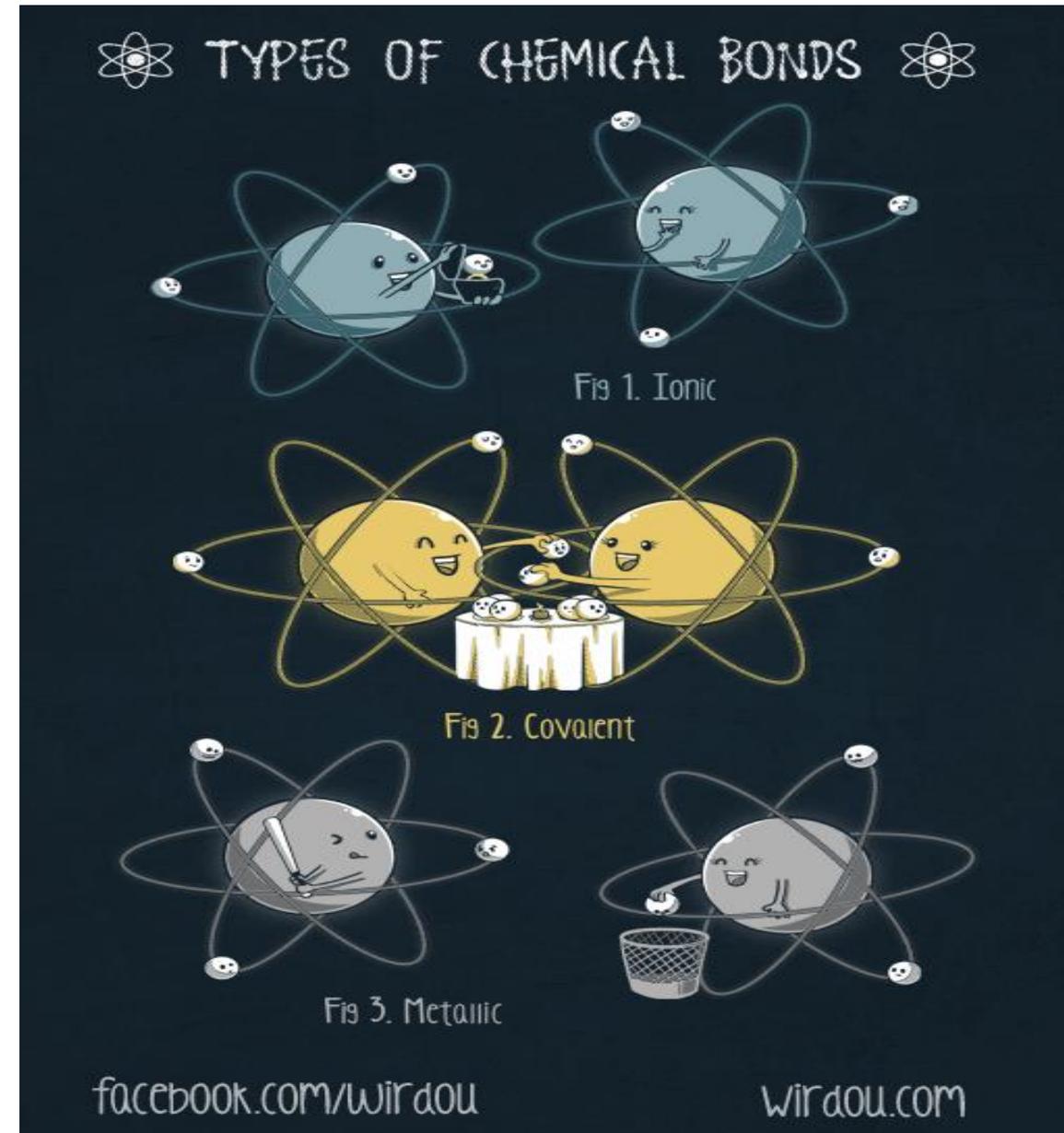
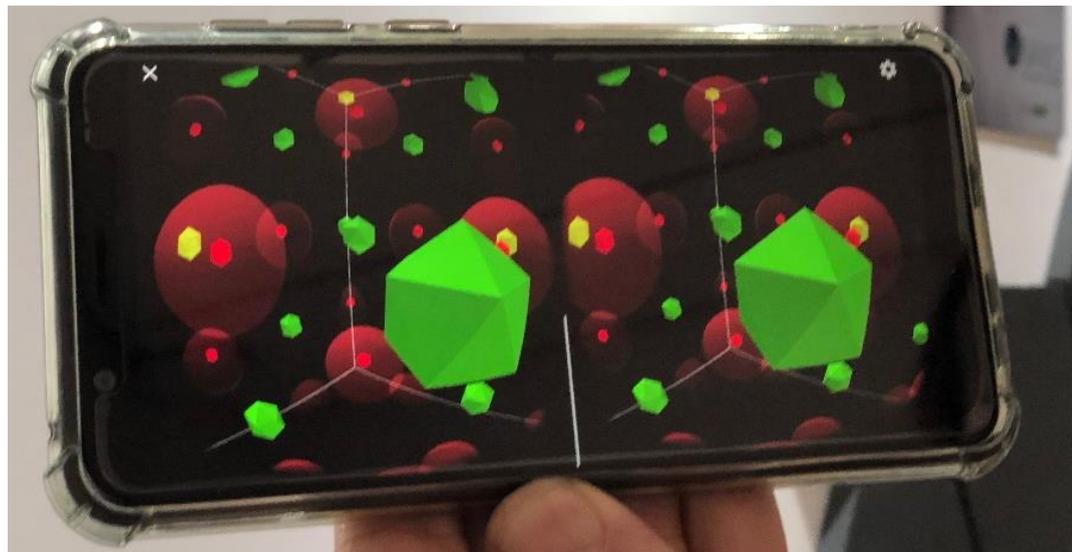
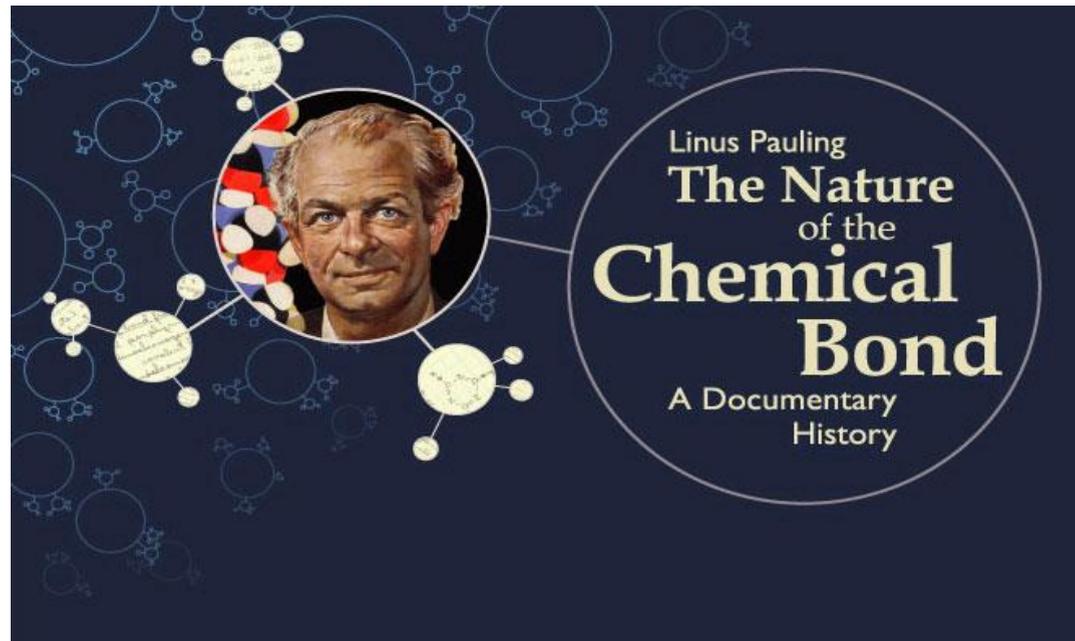
Tipos de ligação



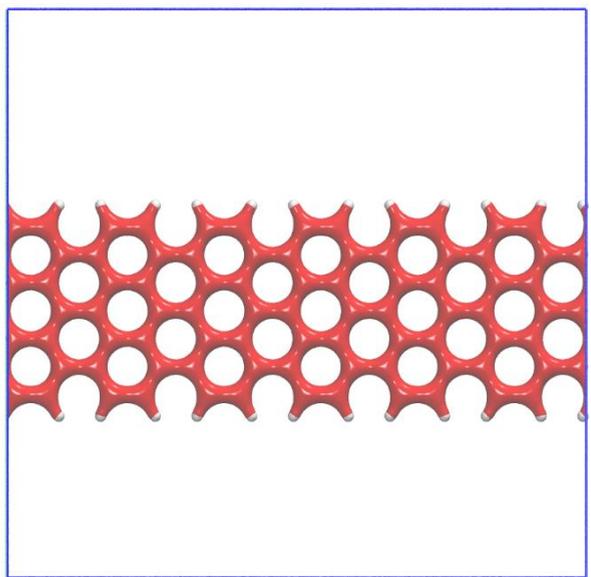
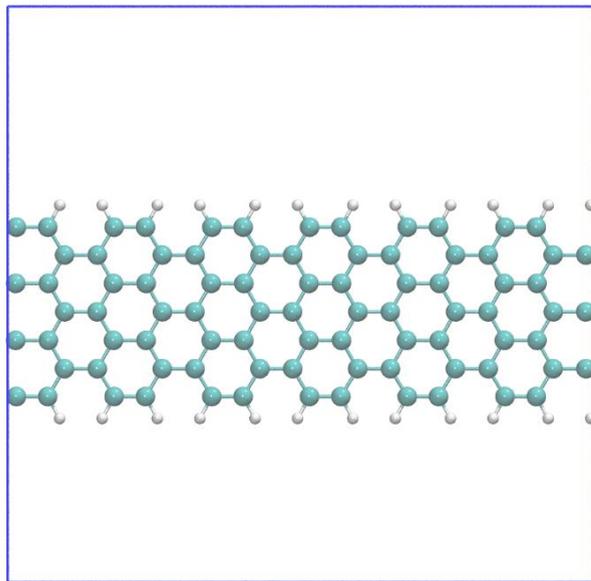
Tipos de ligação



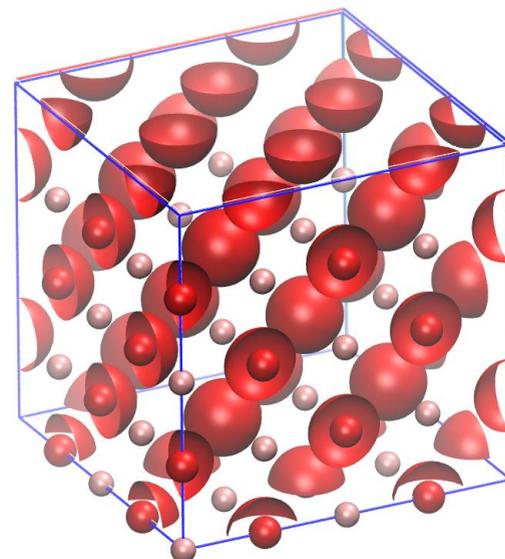
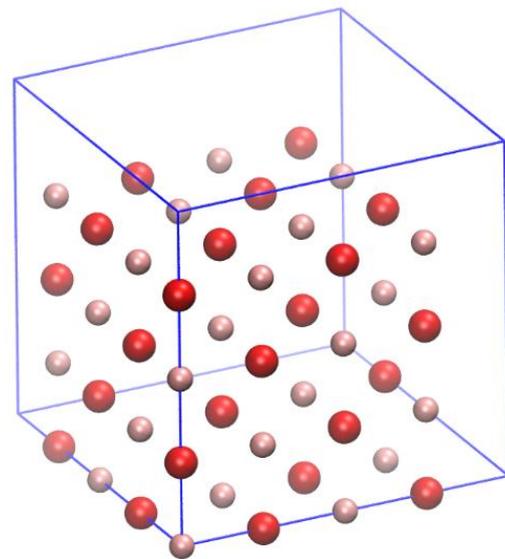
A natureza da ligação química



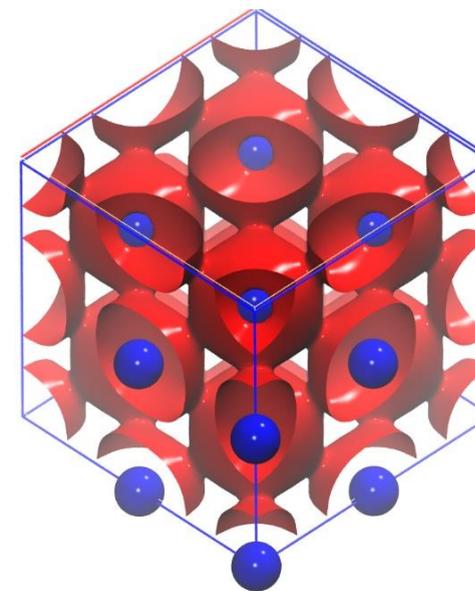
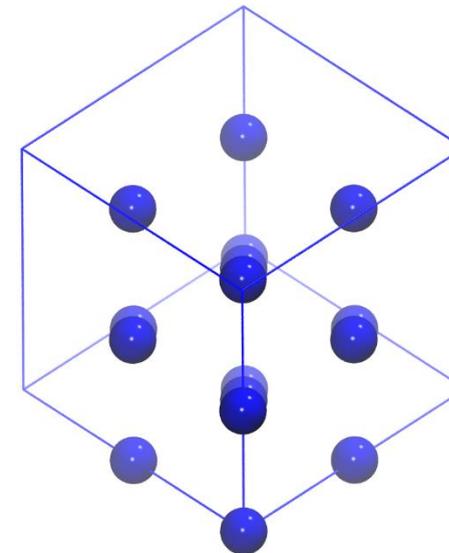
Experimentando as ligações químicas ...



Grafeno - ligação covalente



MgO – ligação iônica



Nb - ligação metálica



Escalas de energia

Covalente -

Ligações iônicas -

Metálica

Van der Waals

(caso especial: ligação de hidrogênio)

**Condições normais de Temperatura e Pressão:
300 K e 0GPa - Energia térmica $kBT \sim 0.03$ eV**

Estimativa da fase do sistema (Sólido ou Líquido)

Escalas de energia

Covalente - ~ 5 eV

Ligações iônicas - ~ 1 a 3 eV

Metálica ~ 0.5 eV

Van der Waals ~ 0.001 a 0.1 eV

(caso especial: ligação de hidrogênio)

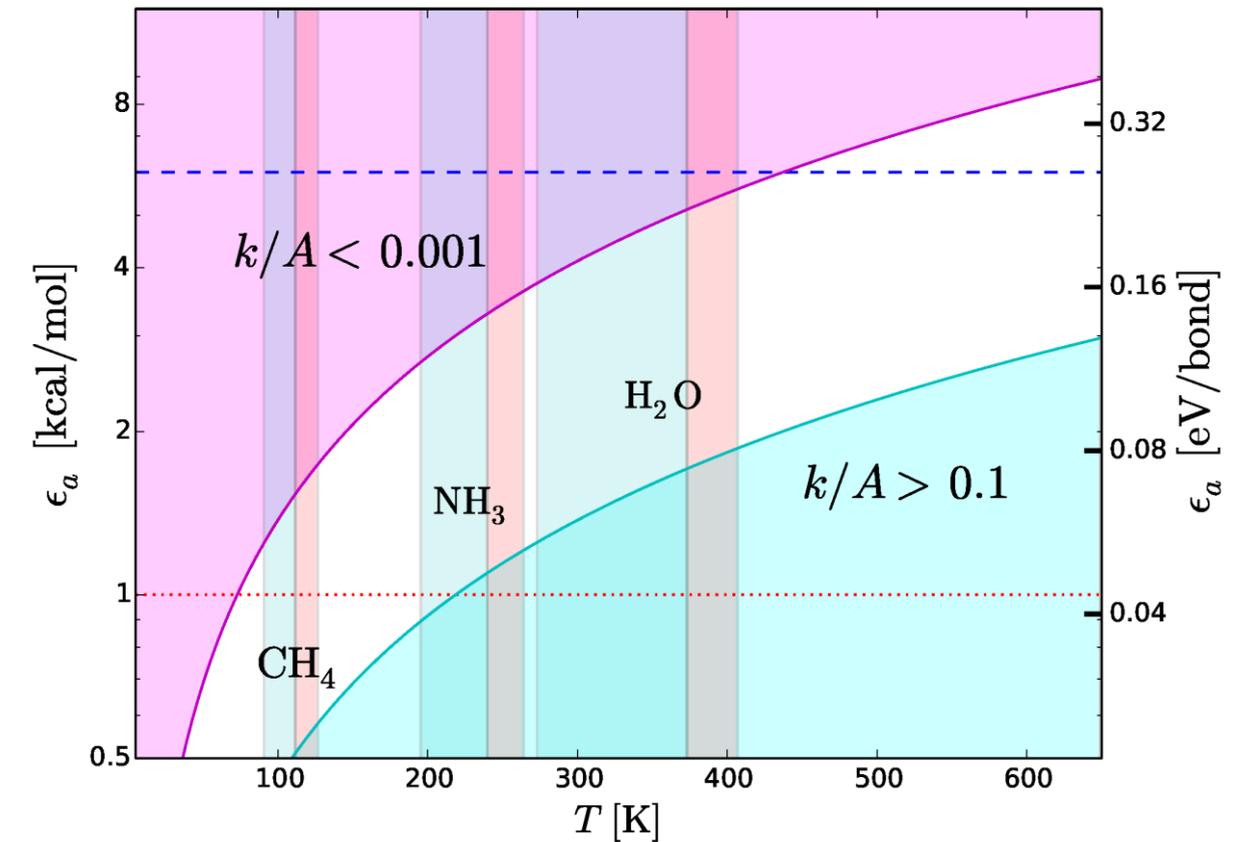
**Condições normais de Temperatura e Pressão:
300 K e 0GPa - Energia térmica $kBT \sim 0.03$ eV**

Estimativa da fase do sistema (Sólido ou Líquido)

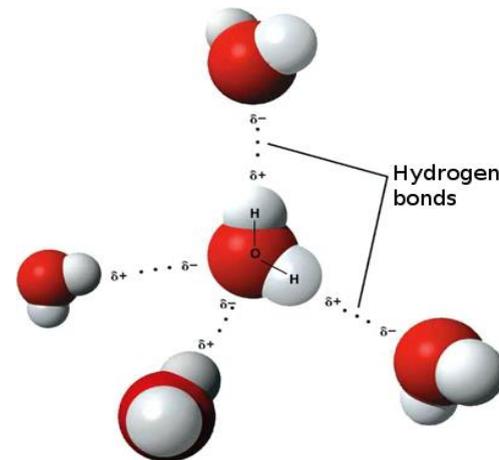
Motivação

Consequences of changes in water's hydrogen bond strength

Water hydrogen bond strength	Main consequence
No Hydrogen-bonding at all	No life
Hydrogen bonds slightly weaker	Life at lower temperatures
No change	Life as we know it
Hydrogen bonds slightly stronger	Life at higher temperatures
Hydrogen bonds very strong	No life



51 KJ mol



Article

Hydrogen Bonds and Life in the Universe

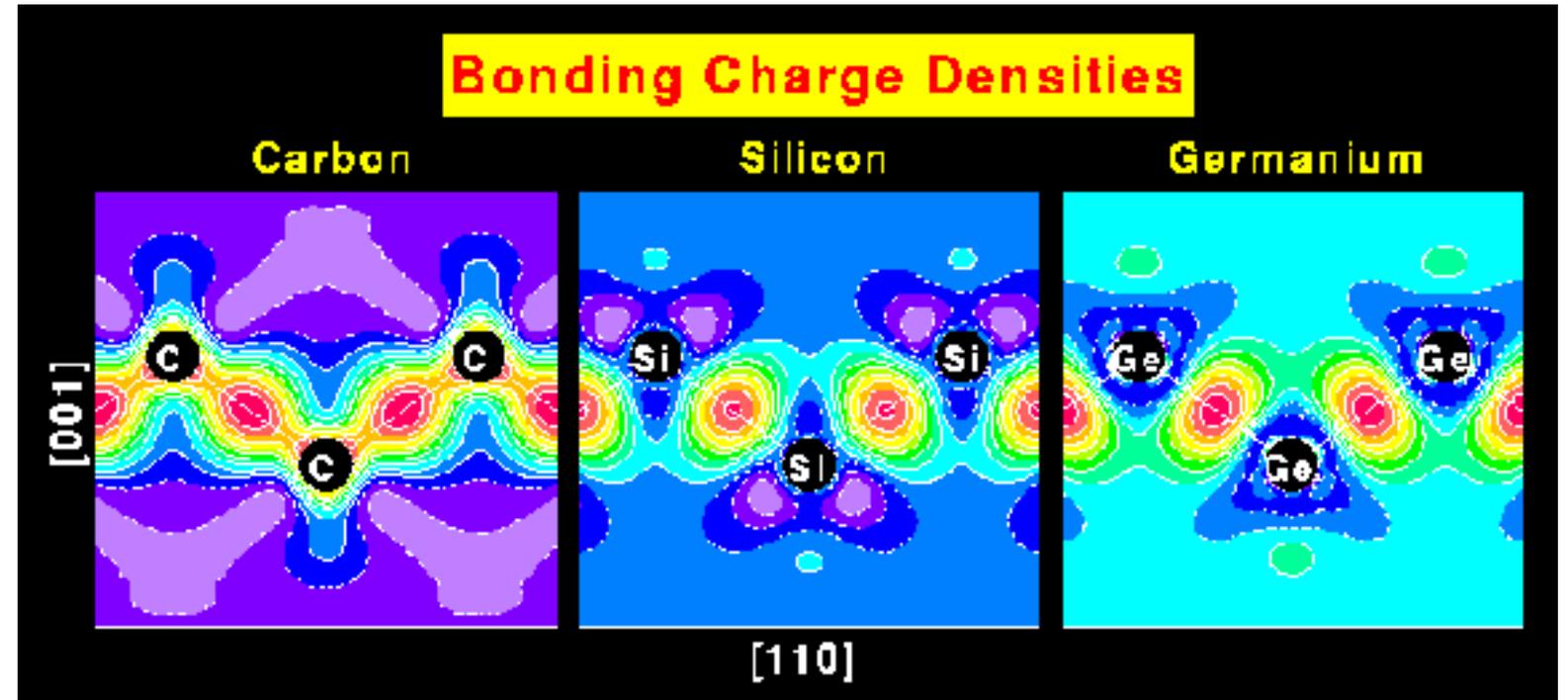
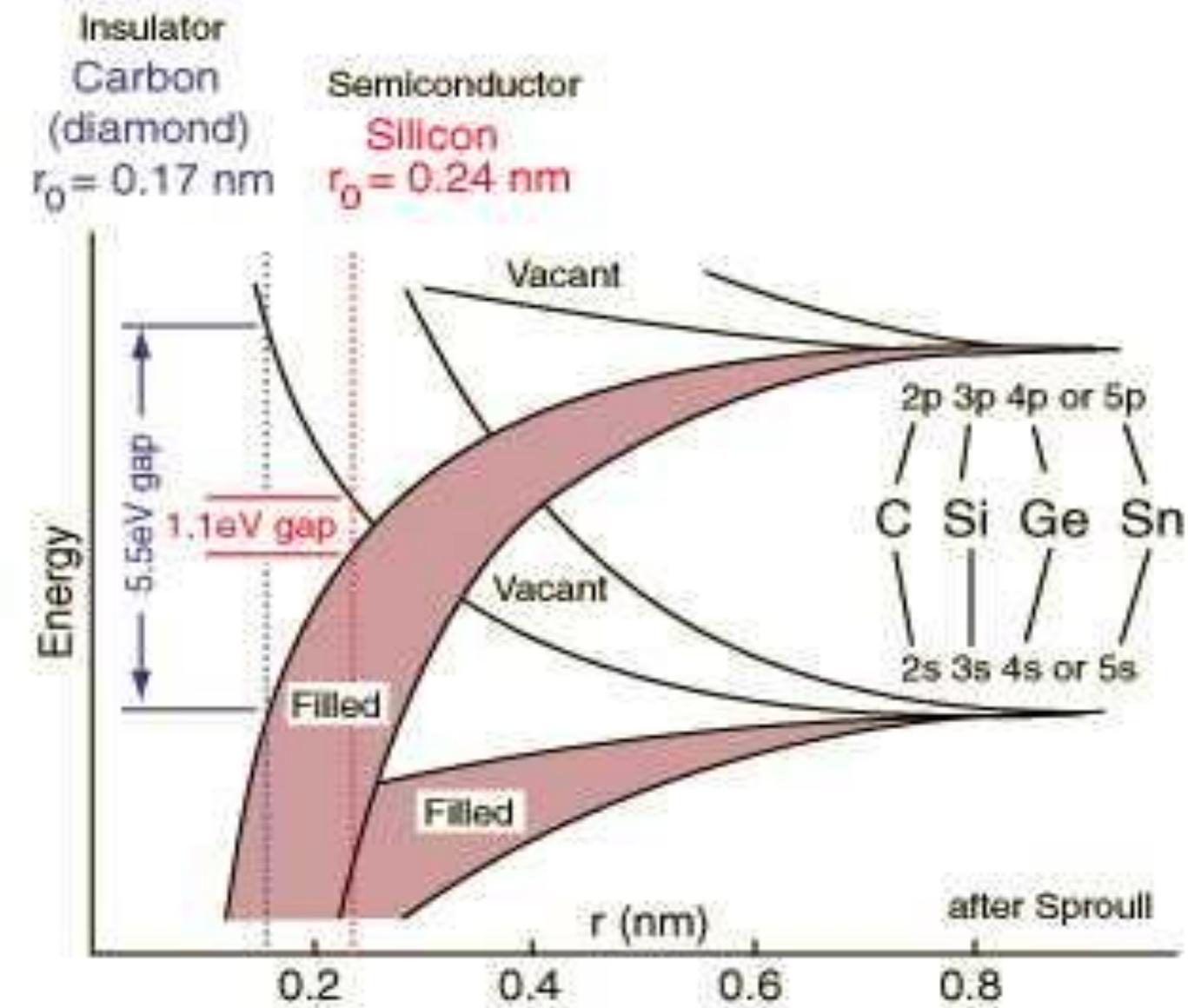
Giovanni Vladilo ^{1,*} and Ali Hassanali ²

Escalas de energia

Table 2.3 Bonding Energies and Melting Temperatures for Various Substances

<i>Bonding Type</i>	<i>Substance</i>	<i>Bonding Energy</i>		<i>Melting Temperature (°C)</i>
		<i>kJ/mol</i>	<i>eV/Atom, Ion, Molecule</i>	
Ionic	NaCl	640	3.3	801
	MgO	1000	5.2	2800
Covalent	Si	450	4.7	1410
	C (diamond)	713	7.4	>3550
Metallic	Hg	68	0.7	-39
	Al	324	3.4	660
	Fe	406	4.2	1538
	W	849	8.8	3410
van der Waals	Ar	7.7	0.08	-189
	Cl ₂	31	0.32	-101
Hydrogen	NH ₃	35	0.36	-78
	H ₂ O	51	0.52	0

Ligações covalentes



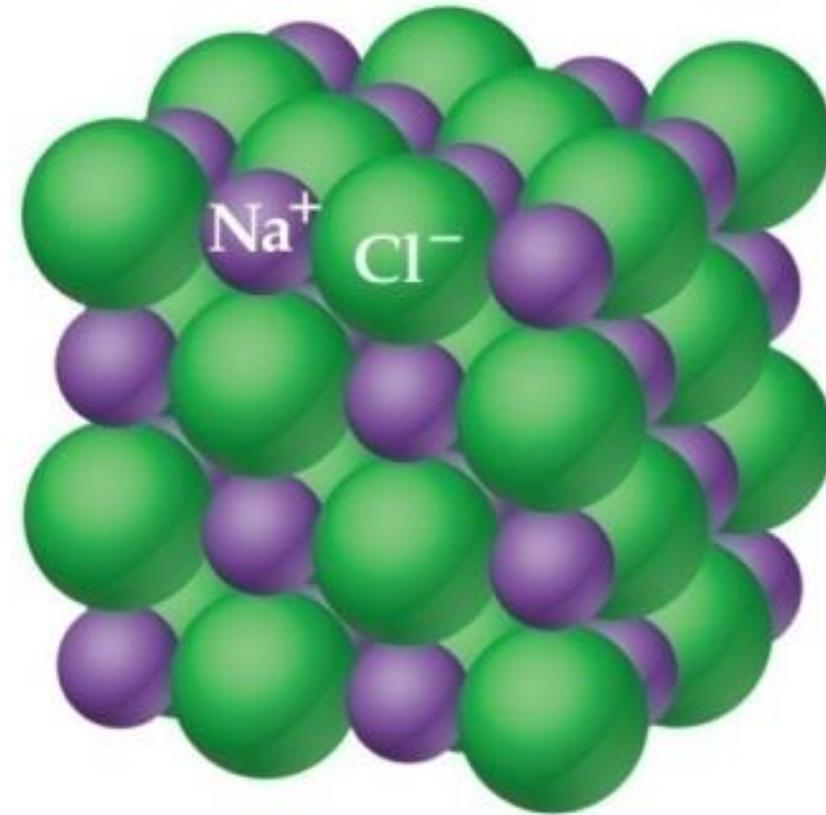
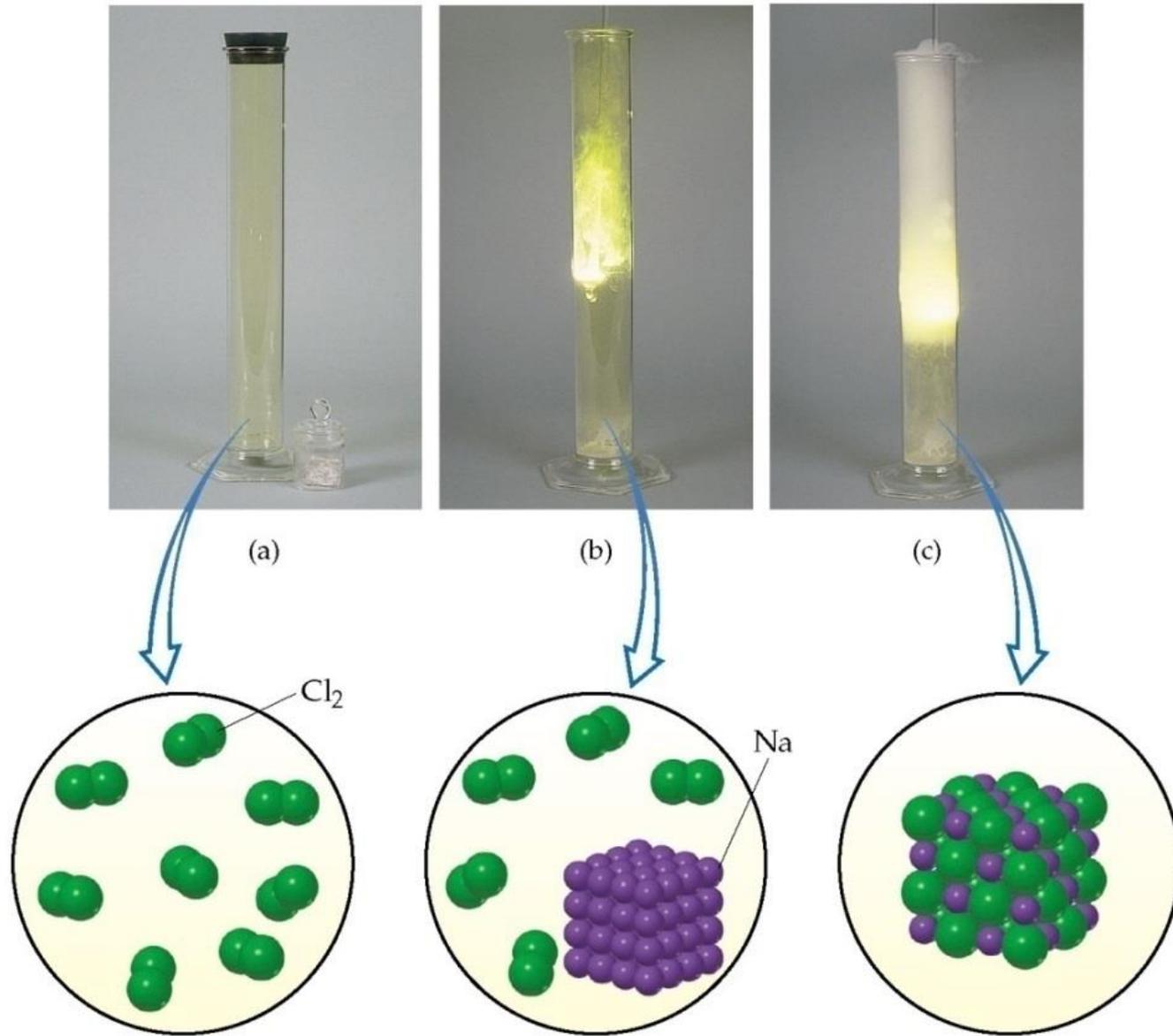
Ligação Iônica

•O termo ligação iônica refere-se as forças eletrostáticas que existem entre íons de carga de sinais contrários. Interações entre os metais do lado esquerdo da tabela periódica com não metais do lado direito.

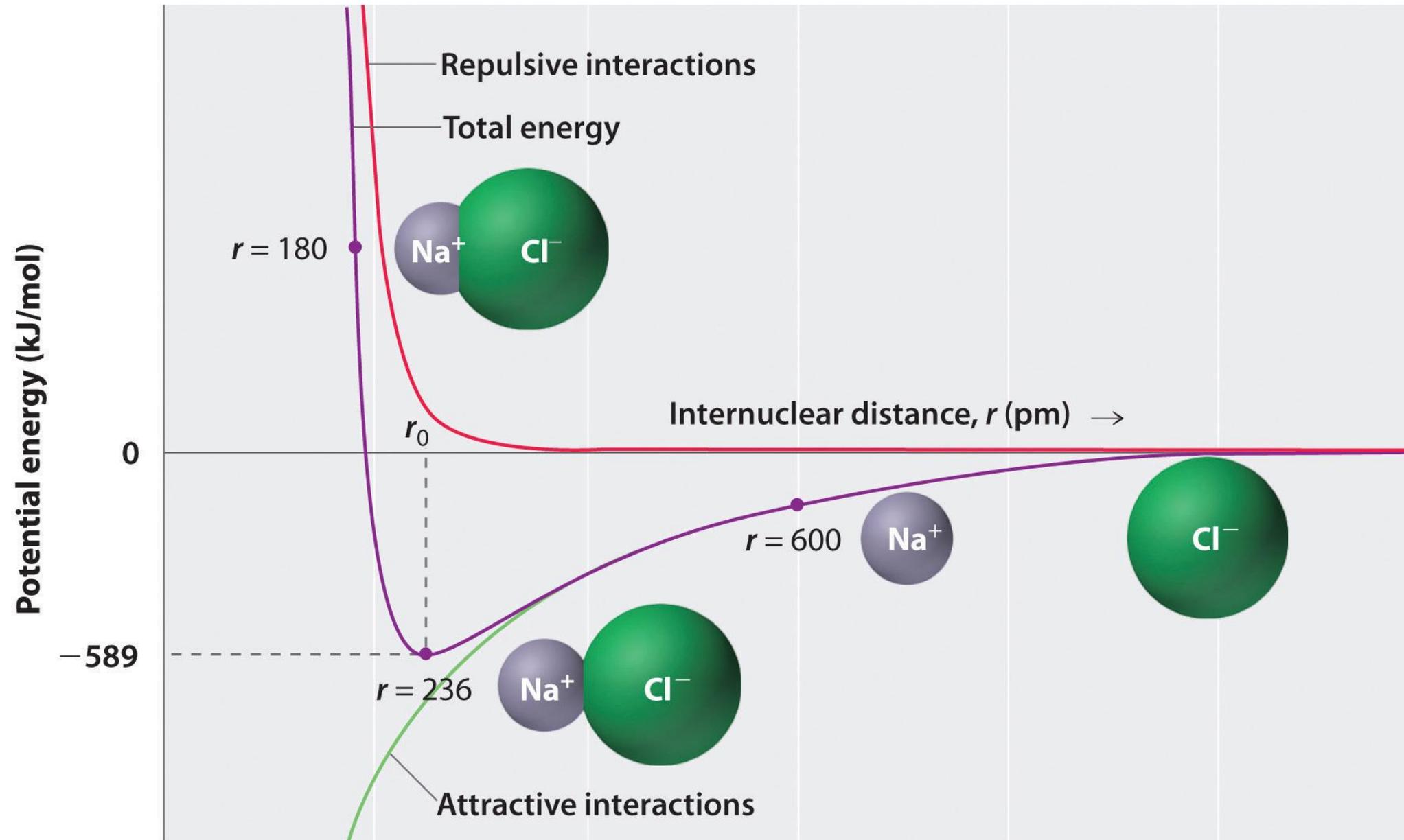
Exemplos:

•LiF, NaCl, KBr, KCl, MgCl₂

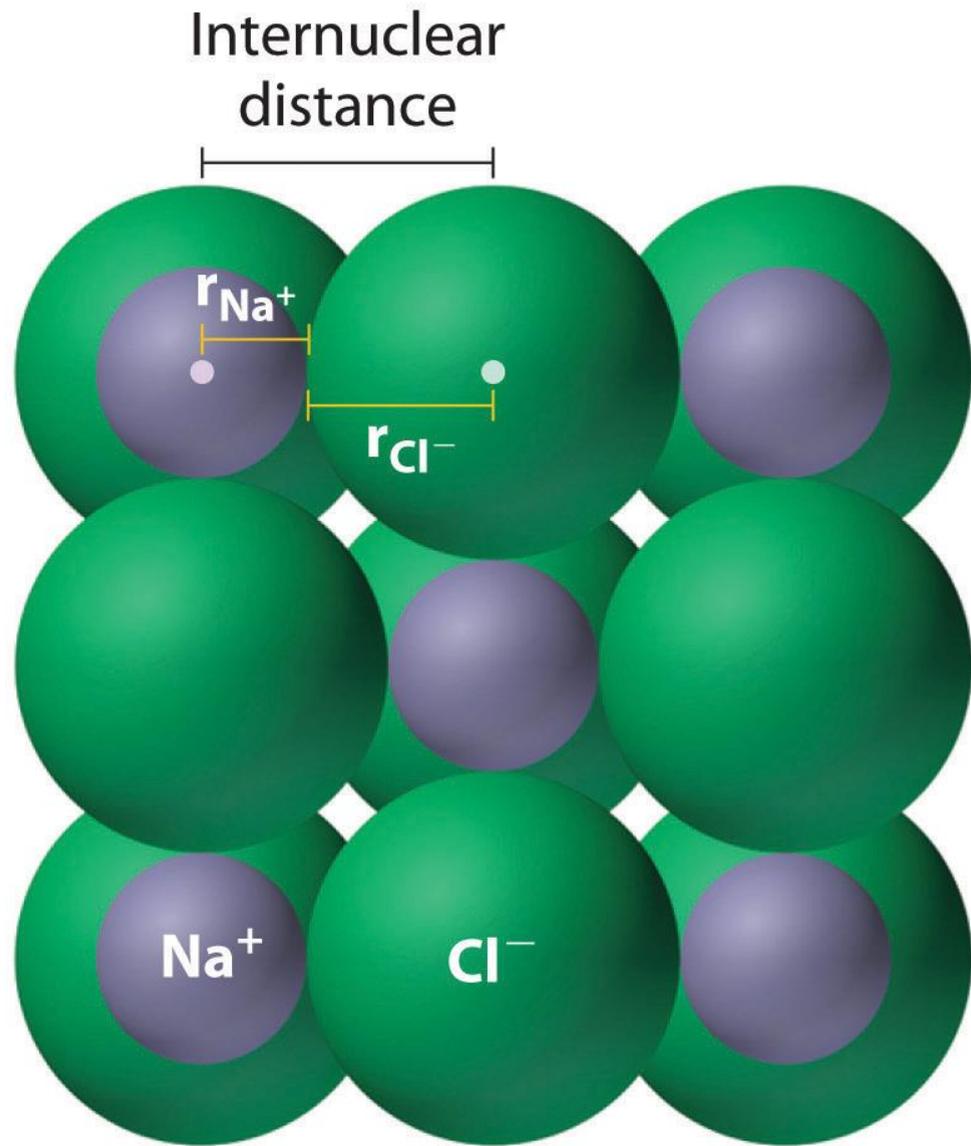
Experimento ...



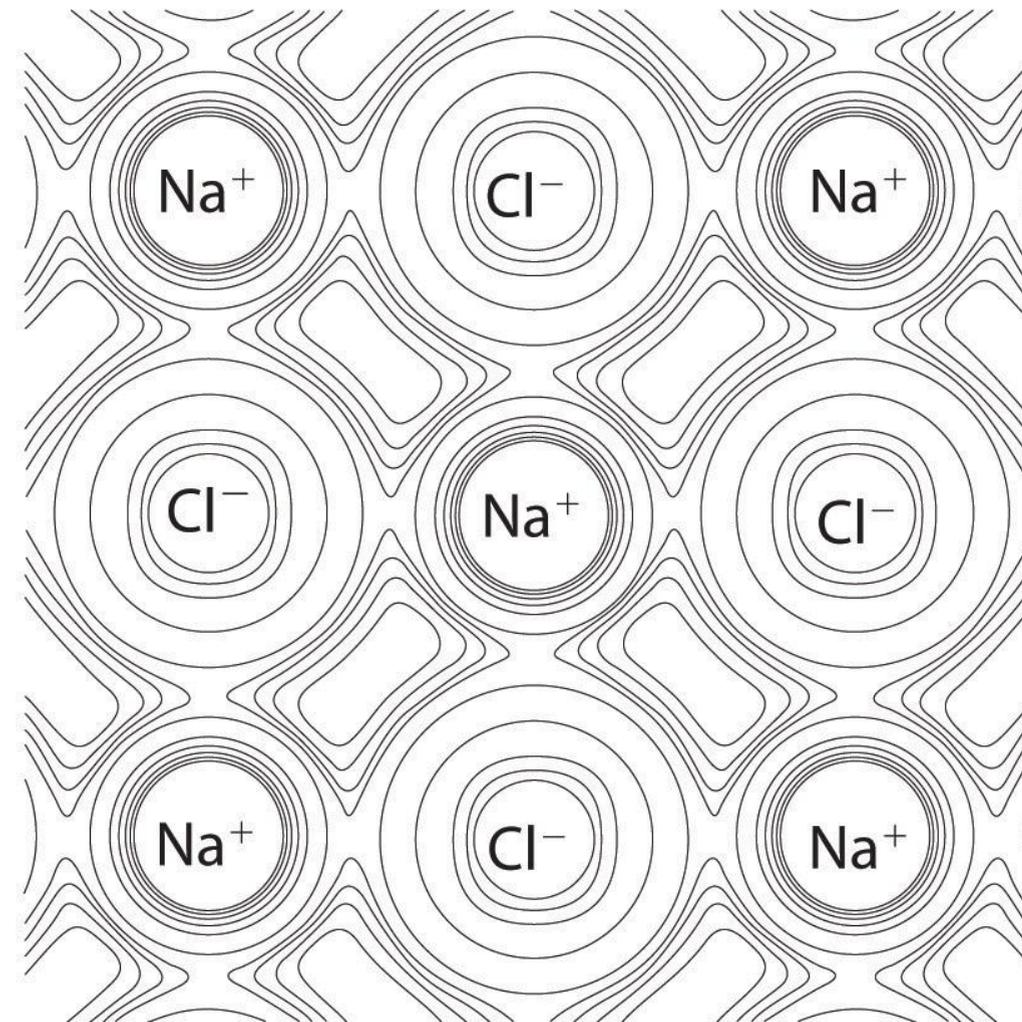
Experimento imaginário ...



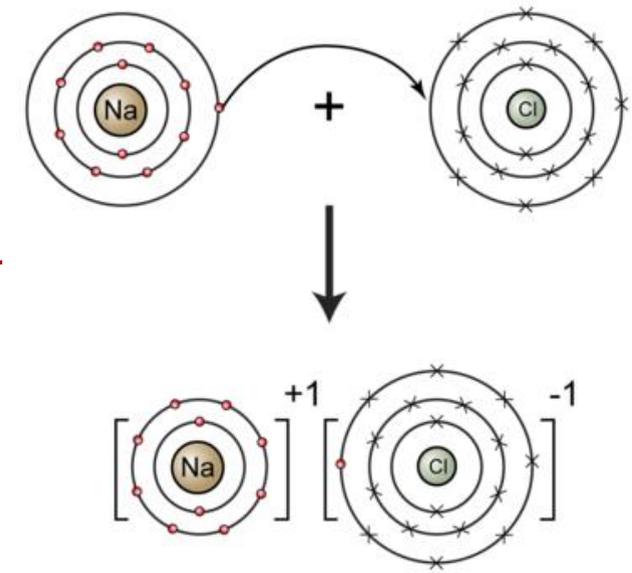
Ligação iônica



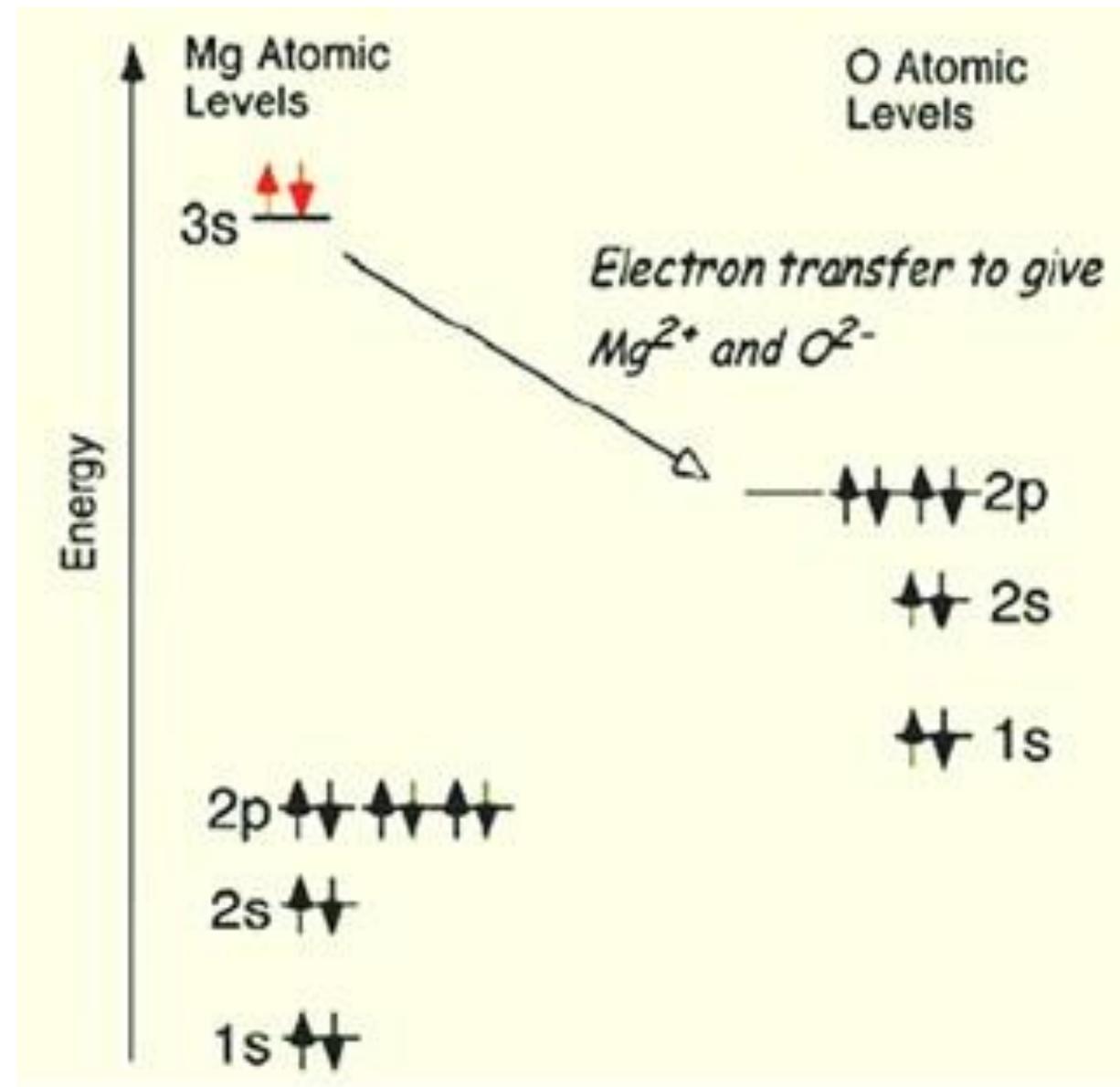
(a)



(b)

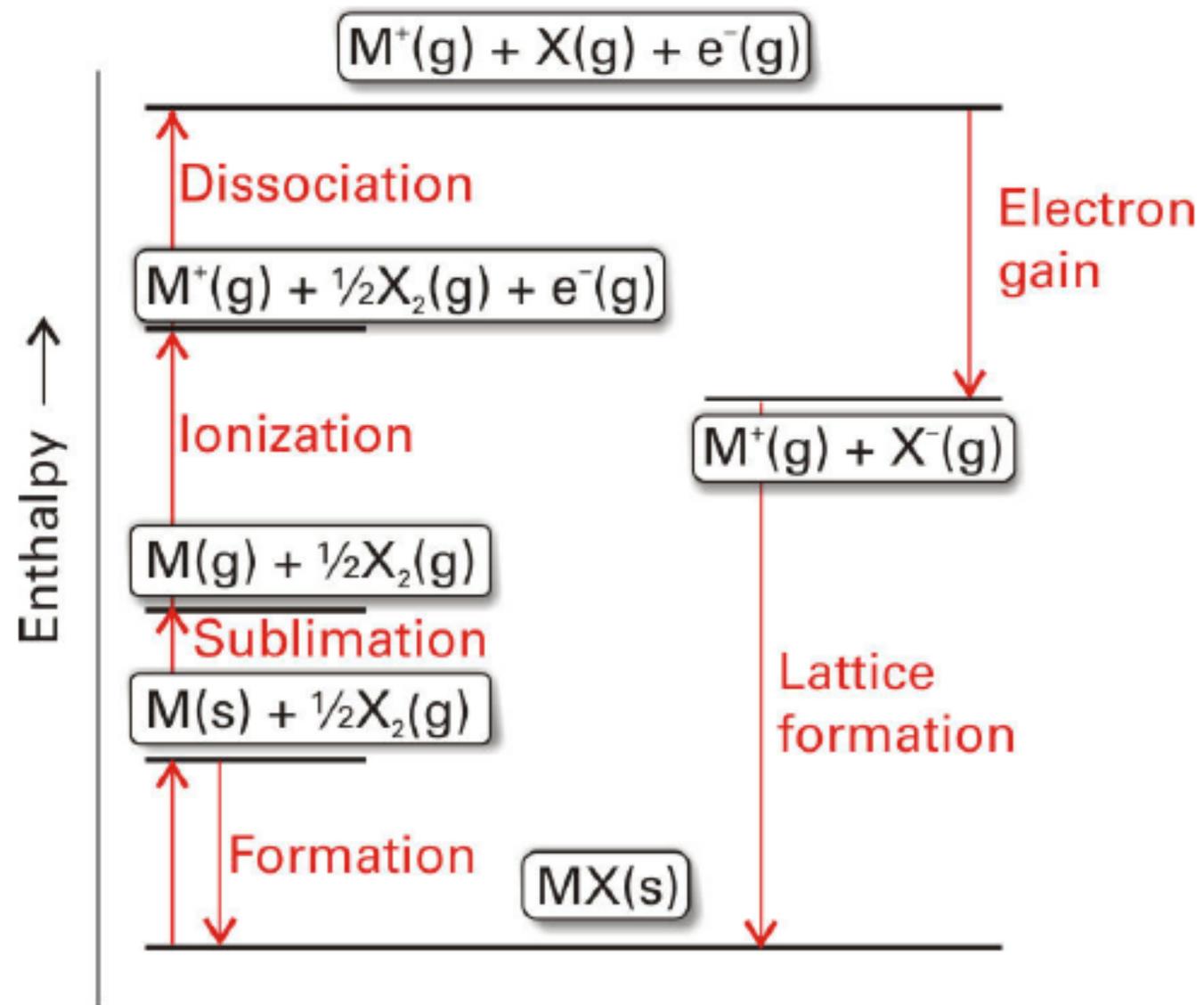


Ligação iônica

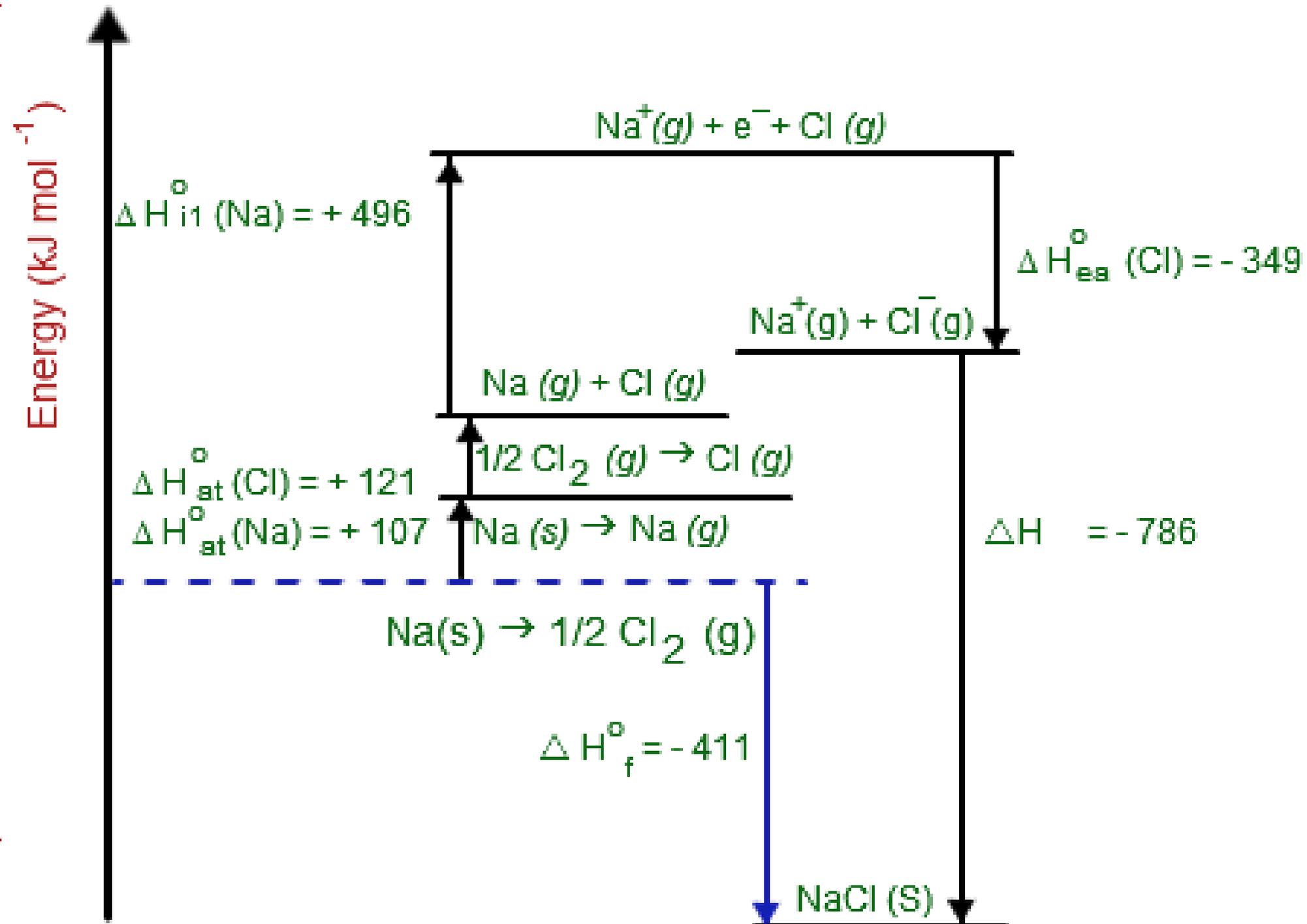


QUAL É A ENERGIA ENVOLVIDA NESSE PROCESSO E LIGAÇÃO ?

Ciclo de Born-Harber



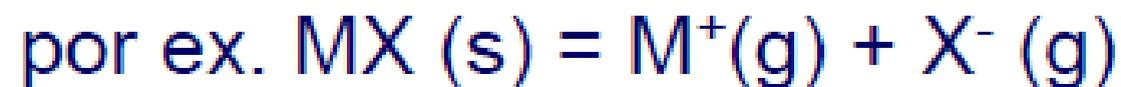
Formação do NaCl



Entalpias da rede

LiF	1 037	LiCl	852	LiBr	815	LiI	761
NaF	926	NaCl	786	NaBr	752	NaI	705
KF	821	KCl	717	KBr	689	KI	649
MgO	3 850	CaO	3461	SrO	3283	BaO	3114
MgS	3 406	CaS	3119	SrS	2974	BaS	2832
Al ₂ O ₃	15 900						

Entalpia de rede (ΔH_L^θ) é a mudança de entalpia padrão que acompanha a separação das espécies que compõem o sólido por mol de unidades de fórmula.



Ciclo de Born-Harber

Processo		ΔH^0 (kJ mol ⁻¹)
KCl (s)	\longrightarrow K (s) + $\frac{1}{2}$ Cl ₂ (g)	+437
K (s)	\longrightarrow K (g)	+89
K (g)	\longrightarrow K ⁺ (g) + e ⁻ (g)	+418
$\frac{1}{2}$ Cl ₂ (g)	\longrightarrow Cl (g)	+122
Cl (g) + e ⁻ (g)	\longrightarrow Cl ⁻ (g)	-349
<hr/>		
KCl (s)	\longrightarrow K ⁺ (g) + Cl ⁻ (g)	+717 kJ mol ⁻¹

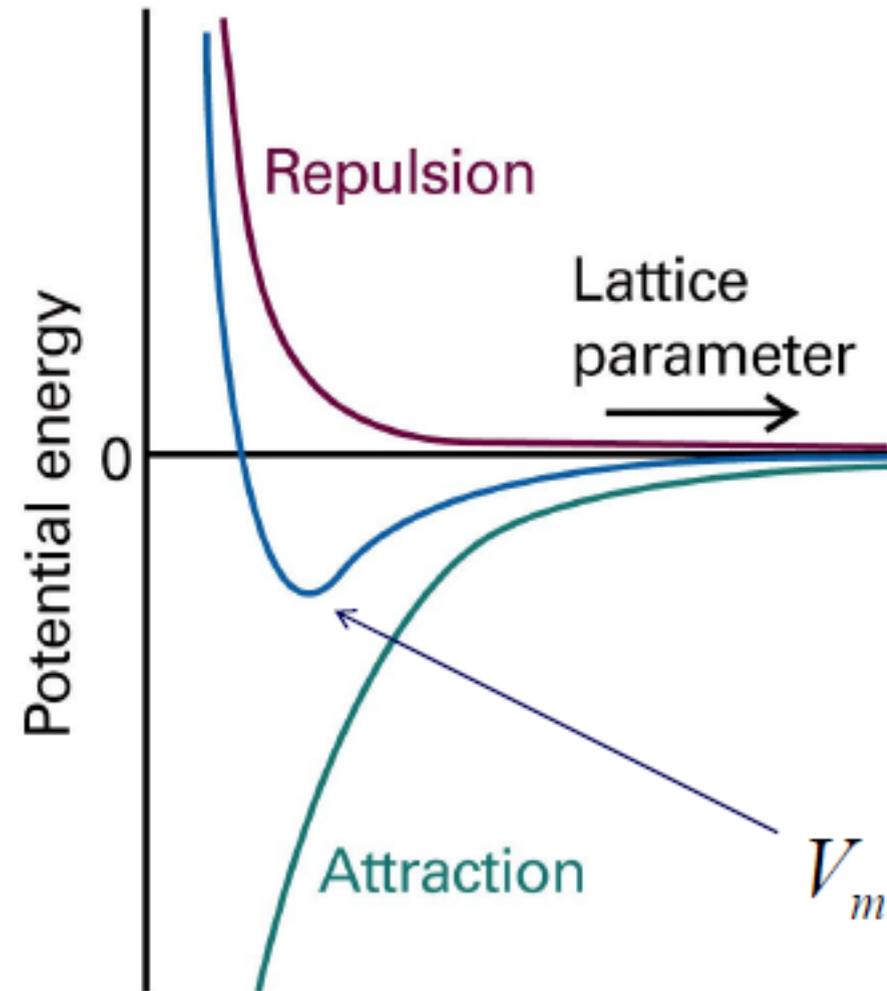
Ligações Metálicas

- São encontradas em metais, sendo que, cada átomo será ligado aos seus átomos vizinhos.
- Os elétrons ligantes estão relativamente livres para se movimentar na estrutura tridimensional
- Dão aos metais propriedades como alta condutividade elétrica e brilho.

Exemplos:

- Cobre, Ferro, Alumínio

Sólidos iônicos



contribuição repulsiva para a energia potencial:

$$V^* = N_A C' e^{\frac{-d}{d^*}}$$

$$d^* = 34,5 \text{ pm}$$

$$V_{tot} = V + V^*$$

$$V_{min} = -\frac{N_A |z_A z_B| e^2}{4\pi\epsilon_0 d} \left(1 - \frac{d^*}{d}\right) A$$

(equação de Born-Mayer)

Interação total intermolecular

Interações entre as moléculas gasosas

pressões baixas → gás ideal

pressões médias → +
compressível

pressões altas → - compressível

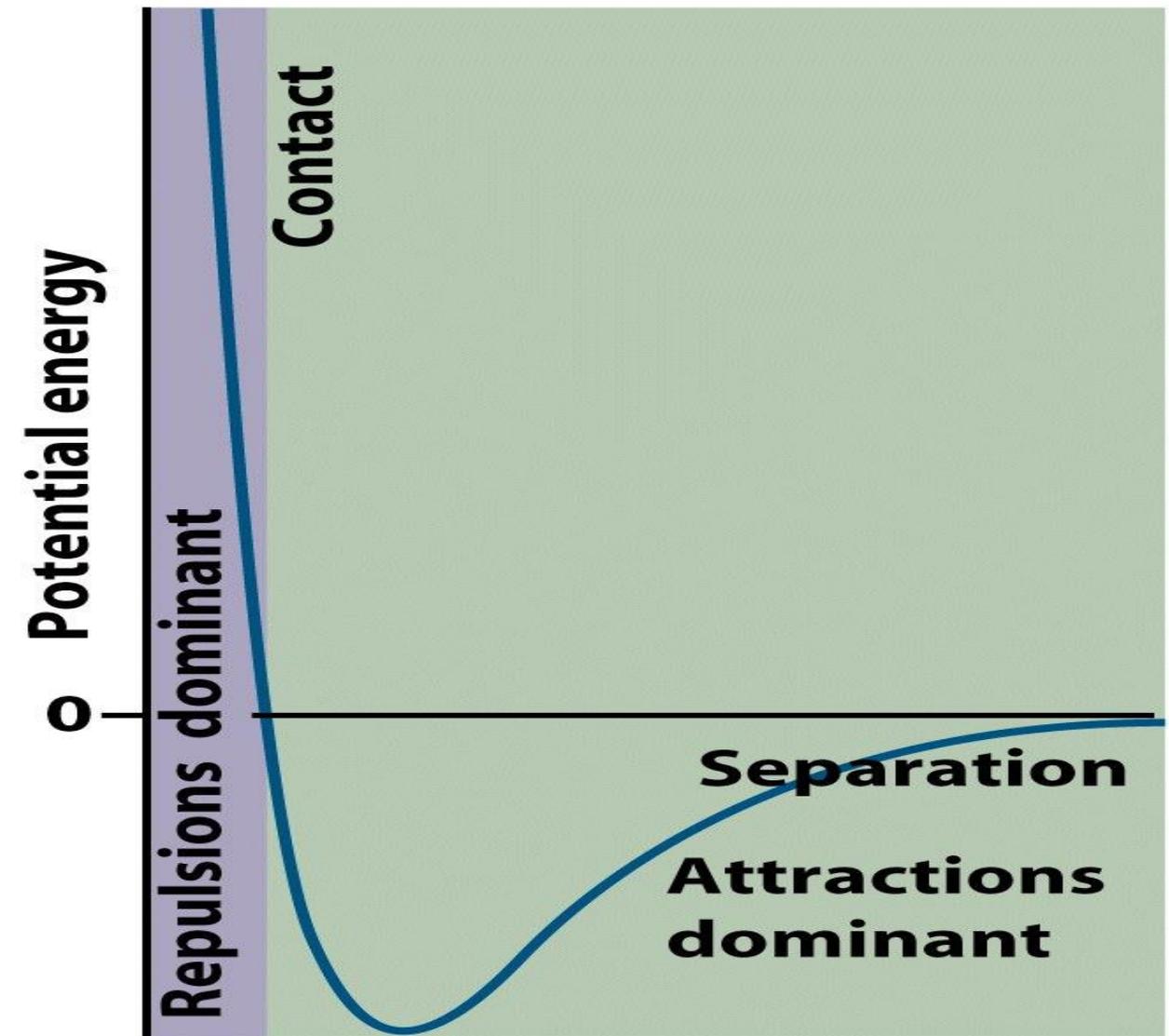


Figure 1-13
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

Interações intermoleculares

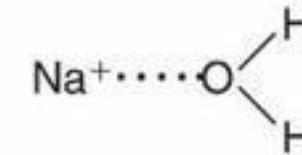
Nonbonding (Intermolecular)

Ion-dipole



Ion charge–
dipole charge

40–600

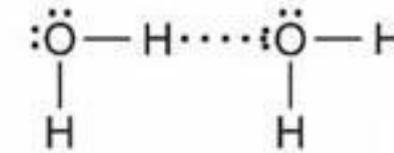


H bond



Polar bond to H–
dipole charge
(high EN of N, O, F)

10–40

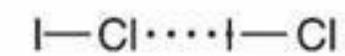


Dipole-dipole



Dipole charges

5–25

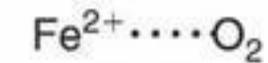


Ion–induced
dipole



Ion charge–
polarizable e^-
cloud

3–15



Dipole–induced
dipole



Dipole charge–
polarizable e^-
cloud

2–10



Dispersion
(London)

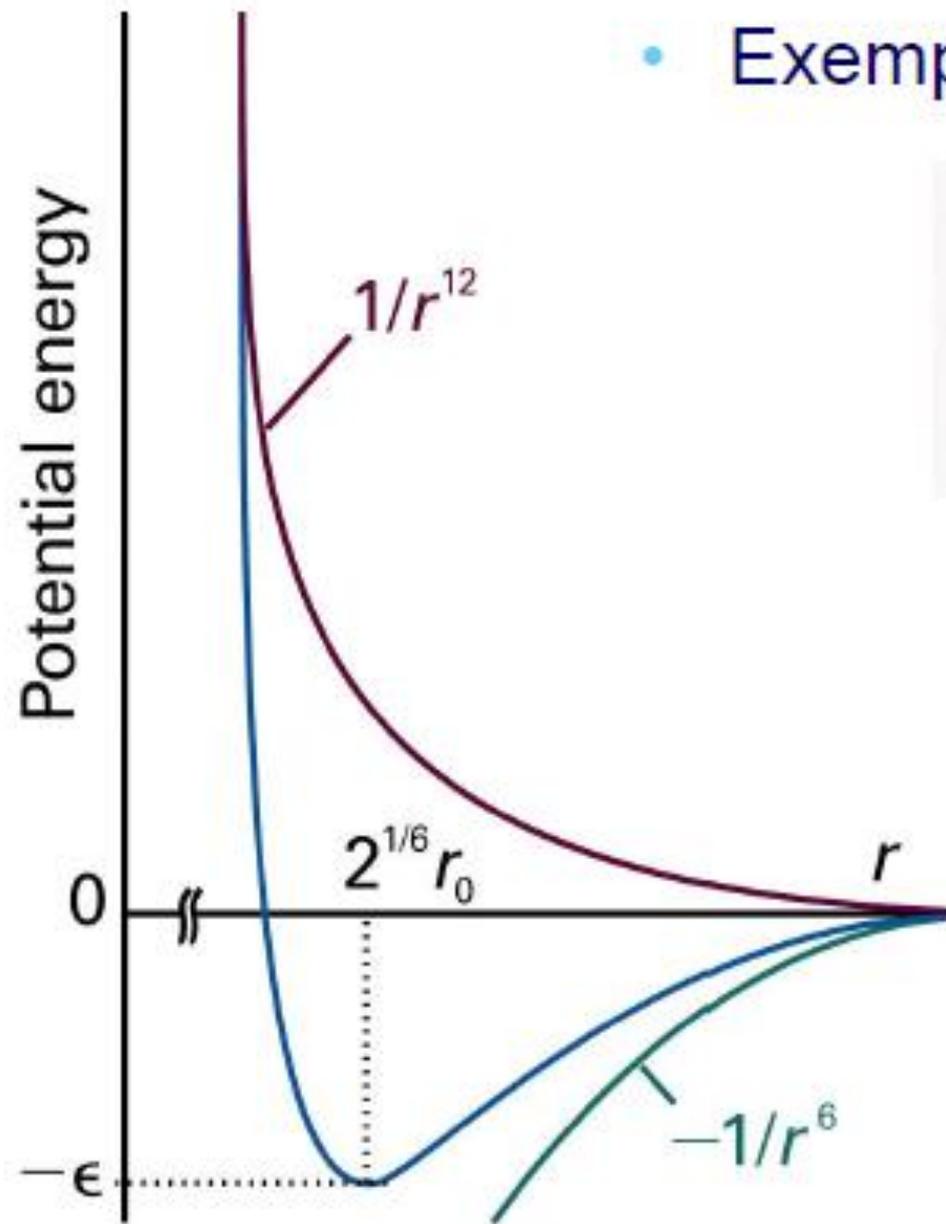


Polarizable e^-
clouds

0.05–40



Modelando a interação total



- Exemplo: potencial de Lennard Jones:

$$V = 4\epsilon \left\{ \left(\frac{r_0}{r} \right)^{12} - \left(\frac{r_0}{r} \right)^6 \right\}$$

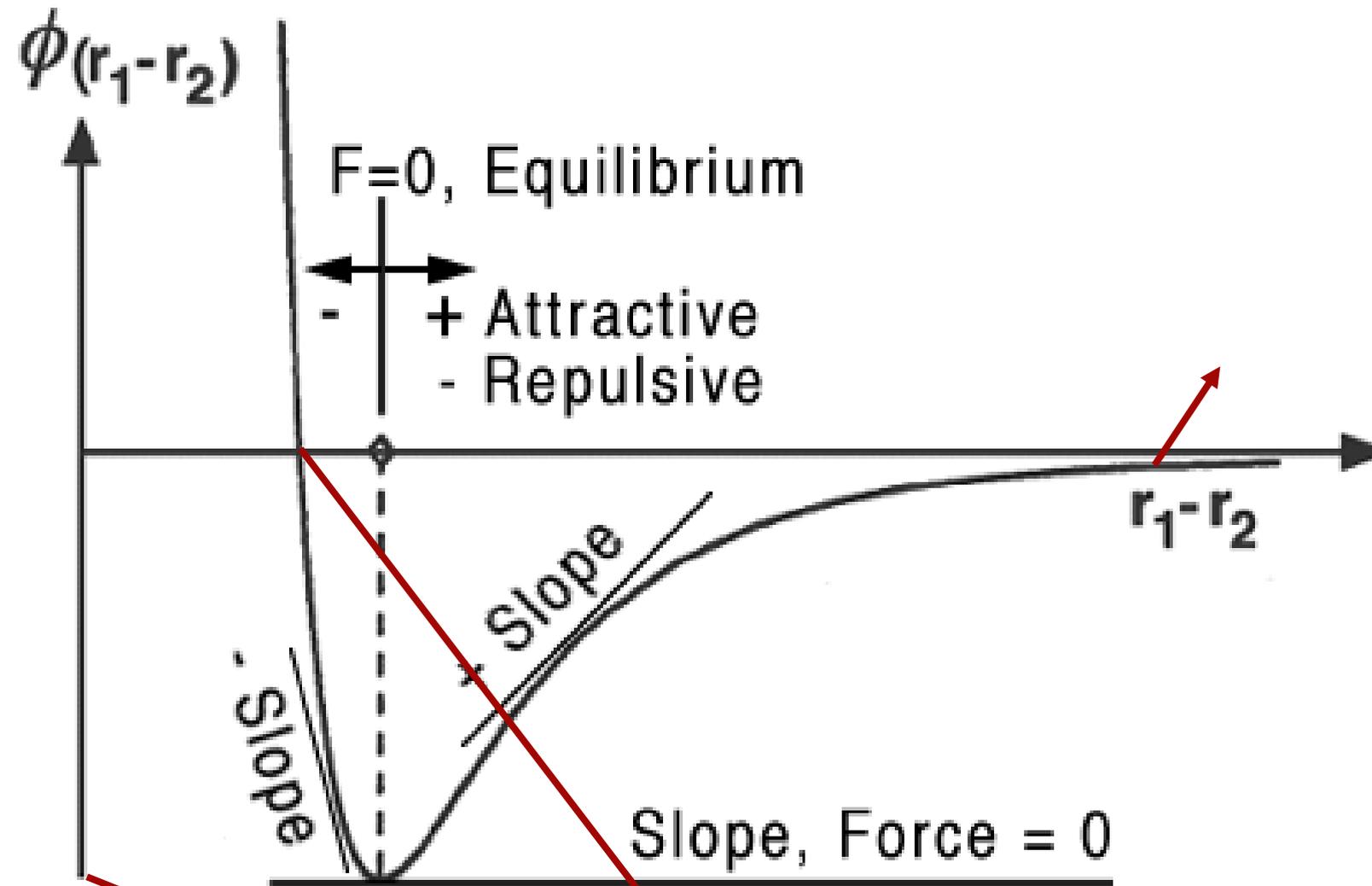
repulsões atrações

ϵ - profundidade do poço de potencial

Synoptic table 18.4* Lennard-Jones
(12,6) parameters

	$(\epsilon/k)/K$	r_0/pm
Ar	111.84	362.3
CCl_4	376.86	624.1
N_2	91.85	391.9
Xe	213.96	426.0

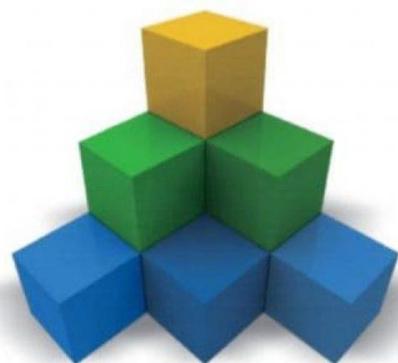
Potencial Lennard-Jones



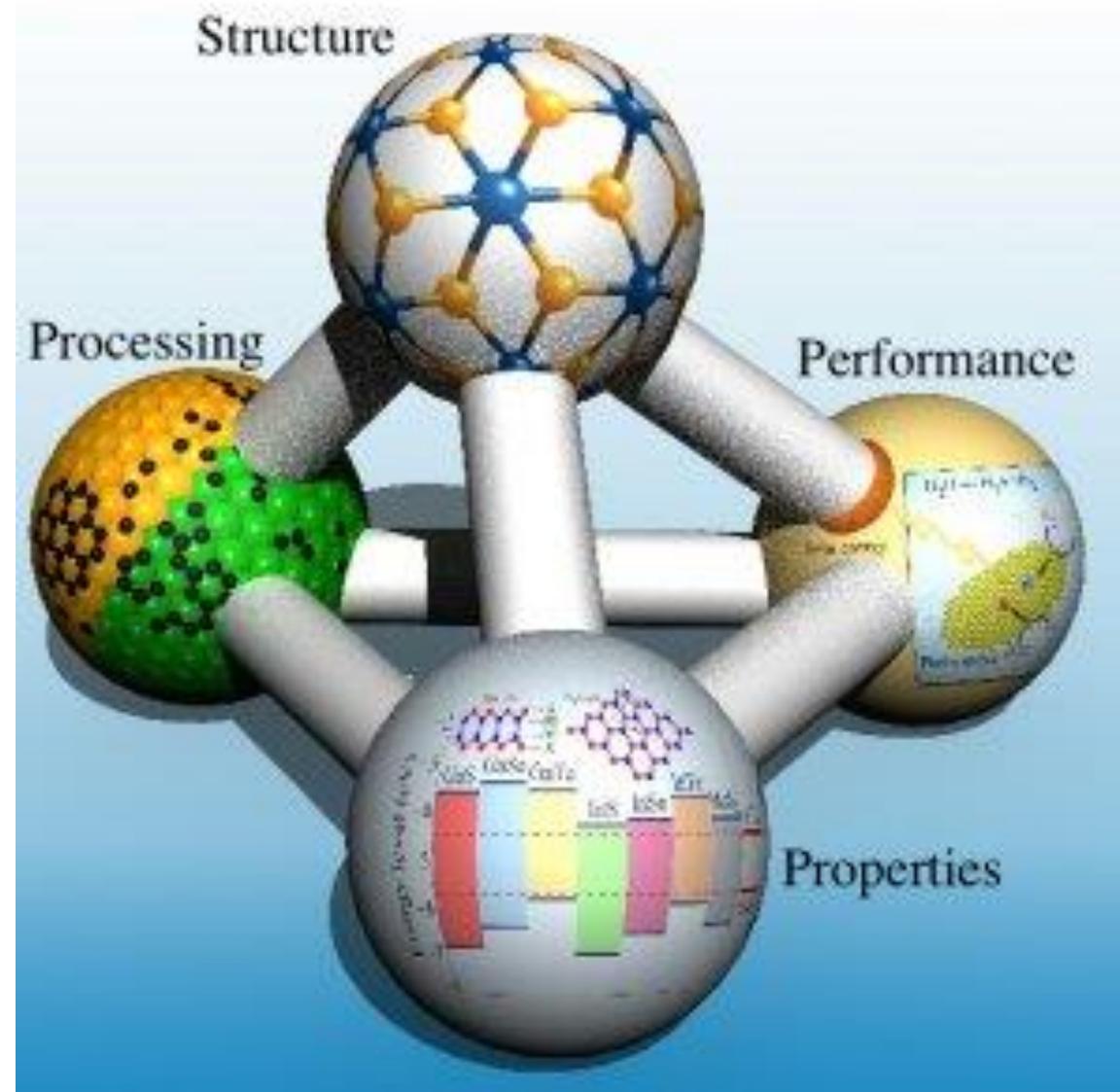
$$u(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

Entrega 1 – 15/09/2022

Mapeando a Física do Estado Sólido no BNCC ...



BASE
NACIONAL
COMUM
CURRICULAR
EDUCAÇÃO É A BASE



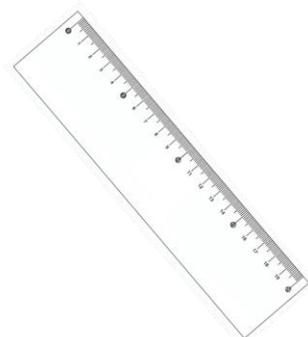
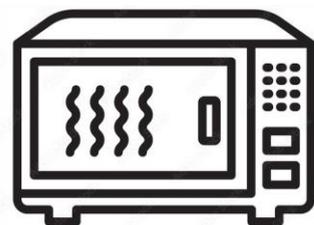
Unidade temática: Matéria e Energia / Objetos do conhecimento / Habilidades

Entrega 1 - BNCC

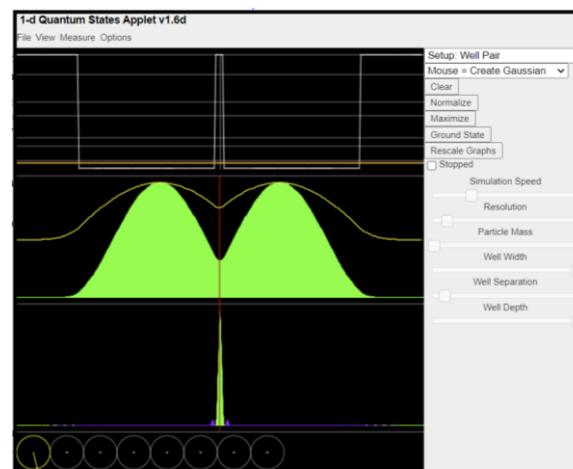
1) Mapear as palavras-chave e tópicos alinhadas com Física do Estado Sólido (Materiais) no documento do BNCC.

Propor *perguntas investigativas* para 10 tópicos.

2) Analise criticamente os processos e práticas de investigação utilizadas até então em alinhamento com a parte 1



1) Prática Experimental



2) Simulações



3) Jogos

Entrega 1

Palavras chaves:

Matéria

Materiais

Processos

Misturas

Transformações

Estados da matéria / Fases

Cotidiano

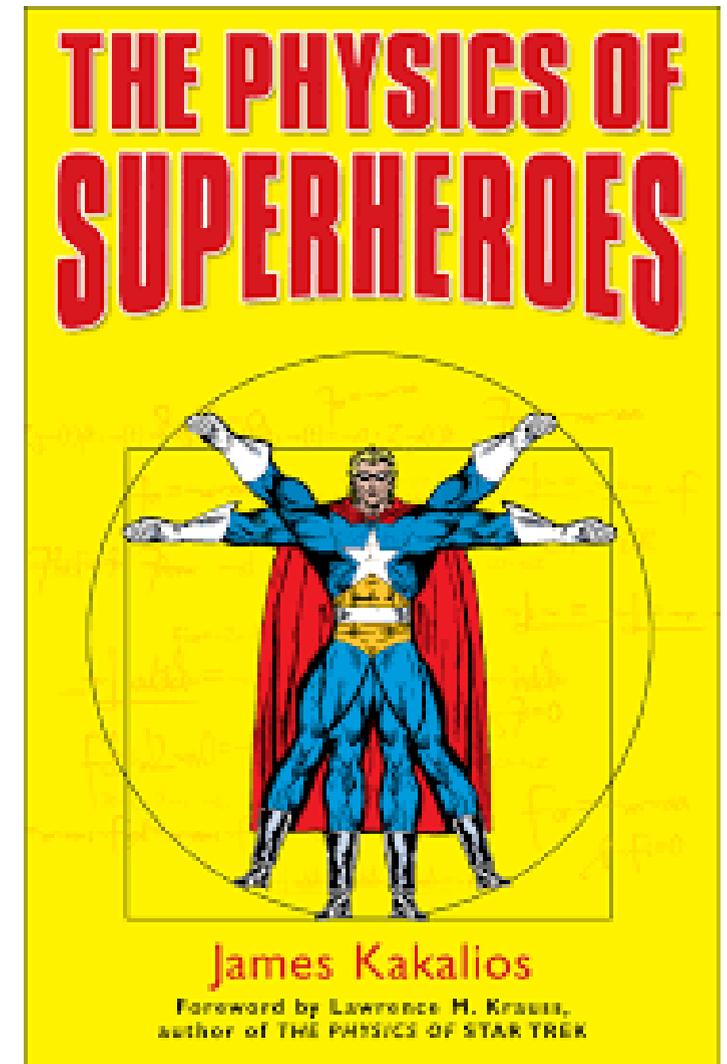
Linguagem específica:

- Classificação da linguagem
- Introdução a conceitos novos
- Sumário e revisão de conceitos anteriores

Competências específicas

- 1ª Habilidade
- 2ª Habilidade

JOGO II



Atividade - Jogo 2 – Super-heróis

- Divisão da turma em equipes.
- Atribua um elemento por equipe, fazendo com que eles escolham aleatoriamente um elemento do conjunto de cartas
- Peça que criem um super-herói com base nas características desse elemento para usar em uma nova série de animação educacional.
- Antes de projetar, direcione-os para escolher um público específico para seu personagem (alunos do ensino fundamental, médio ou médio)
- Mantenha esse público em mente ao determinar a natureza, a estética (a aparência) e o super poder de seu personagem.

Atividade - Jogo 2 – Super-heróis

- Oriente os alunos a consultar as propriedades em seus cartões e projetar seu super-herói para ter características semelhantes. O poder principal do super-herói deve estar relacionado a um item do cartão de informações.
- Registre todas as ideias.
- Lembre aos alunos que cada grupo deve criar um nome para o super-herói relacionado ao nome do elemento.

Atividade - Jogo 2 – Super-heróis

- Peça aos alunos que desenhem seu super-herói.
- Cada desenho de equipe deve incluir o símbolo e o número atômico do elemento, bem como uma breve descrição dos poderes e propriedades do herói.

POTASSIMAN



HE REACTS VIOLENTLY
WITH WATER TO PROTECT
US!!!

Atividade - Jogo 2 – Super-heróis – parte 2 – Liga dos heróis

- Depois que os alunos terminarem ou fizerem um progresso razoável em seus super-heróis, lembre-os de que nem todos os super-heróis trabalham sozinhos, faça com que eles façam um brainstorming de diferentes pares ou grupos de super-heróis.
- Agora emparelhe cada grupo de alunos com outro grupo de alunos. Peça-lhes que criem um novo supergrupo.
- Eles devem pensar sobre quais pontos fortes e fracos cada super-herói elemental traz para o grupo e no que o grupo é melhor, com base nos pontos fortes individuais dos elementos.

Atividade - Jogo 2 – Super-heróis – parte 2 – Liga dos heróis

- Faça com que cada equipe faça uma rápida apresentação de "design de engenharia" de seus primeiros elementos individuais e super-heróis e, em seguida, sua dinâmica devido à classe.
- Organize os desenhos dos elementos de super-heróis em uma parede, fazendo com que os alunos os organizem para imitar suas localizações relativas da tabela periódica.