



Universidade Federal do ABC



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

Marcos no Desenvolvimento da Física

Marco #3: A teoria atômica

Prof. Marcelo Augusto Leigui de Oliveira

leigui@ufabc.edu.br

NA ANTIGUIDADE ...

NA ANTIGUIDADE ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água



NA ANTIGUIDADE ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.): ápeiron (indefinido)



NA ANTIGUIDADE ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.): ápeiron (indefinido)

Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): ar



NA ANTIGUIDADE ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.): ápeiron (indefinido)

Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): ar

Xenófanes de Colofão (c 570 – c 480 a.C.): terra



NA ANTIGUIDADE ...

Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")



Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): água

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.): ápeiron (indefinido)

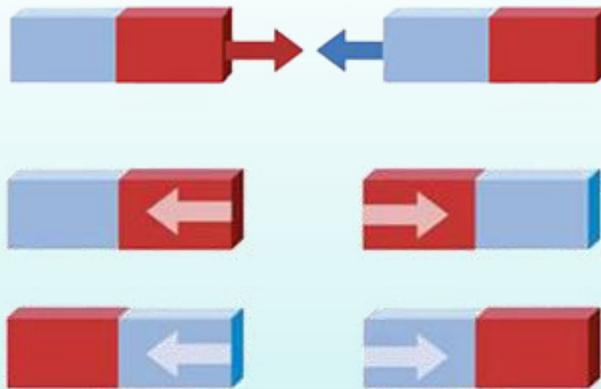
Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): ar

Xenófanes de Colofão (c 570 – c 480 a.C.): terra

Heráclito de Éfeso (c 540 – c 470 a.C.): fogo



NA ANTIGUIDADE ...



Empedocle's.

Tales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): **água**

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.): **ápeiron**
(indefinido)

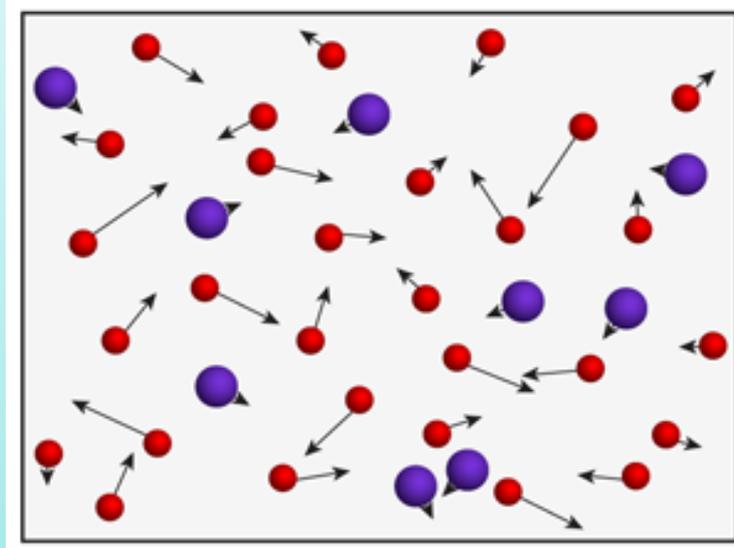
Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): **ar**

Xenófanes de Colofão (c 570 – c 480 a.C.): **terra**

Heráclito de Éfeso (c 540 – c 470 a.C.): **fogo**

Empédocles de Acraga (atual Agrigento) (c 490 – c 430 a.C.):
4 elementos (água, ar, terra e fogo) e **2 forças** ou princípios:
amor (*philia*) e ódio (*ekthos*), ou seja, atração e repulsão.

NA ANTIGUIDADE ... OS ATOMISTAS

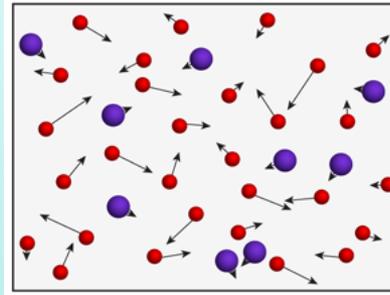


NA ANTIGUIDADE ... OS ATOMISTAS



Demócrito e Leucipo: primeiros atomistas.

Demócrito de Abdera (c 460 – c 380 a.C.) e seu discípulo Leucipo de Mileto (c 460 – c 370 a.C.): **átomos** (indivisíveis) e **vácuo**.

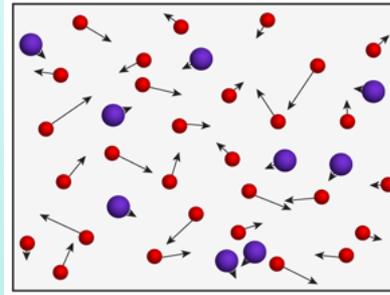


NA ANTIGUIDADE ... OS ATOMISTAS



Demócrito e Leucipo: primeiros atomistas.

Demócrito de Abdera (c 460 – c 380 a.C.) e seu discípulo Leucipo de Mileto (c 460 – c 370 a.C.): **átomos** (indivisíveis) e **vácuo**.



Platão e Aristóteles n'A Escola de Atenas, pintura de Rafael (1509-1510).

Platão (c 427 – c 347 a.C.) propõe um modelo geométrico para os 4 elementos:

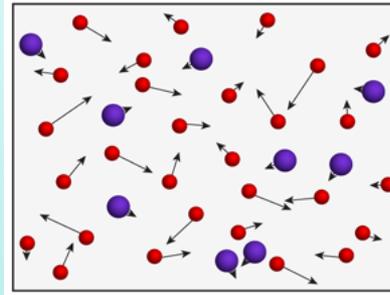


NA ANTIGUIDADE ... OS ATOMISTAS



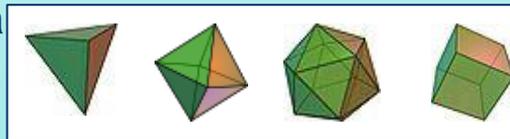
Demócrito e Leucipo: primeiros atomistas.

Demócrito de Abdera (c 460 – c 380 a.C.) e seu discípulo Leucipo de Mileto (c 460 – c 370 a.C.): **átomos** (indivisíveis) e **vácuo**.



Platão e Aristóteles n'A Escola de Atenas, pintura de Rafael (1509-1510).

Platão (c 427 – c 347 a.C.) propõe um modelo geométrico para os 4 elementos:



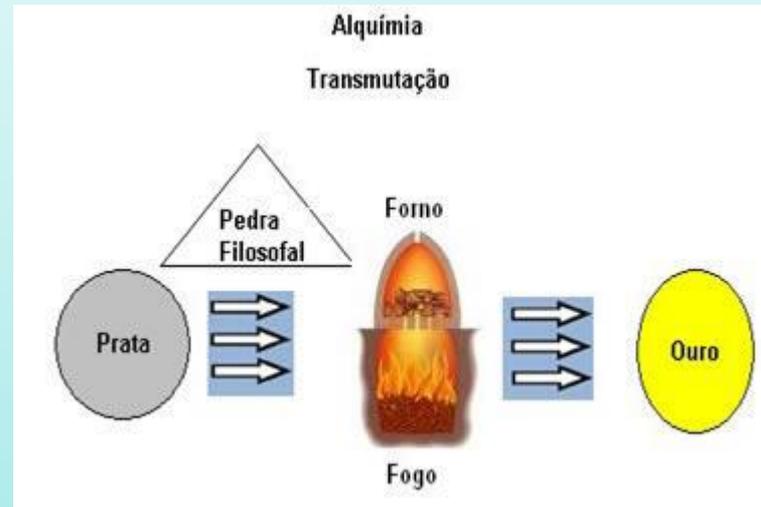
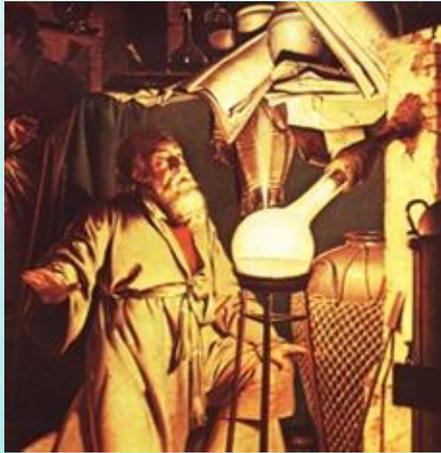
Aristóteles (384 – c 322 a.C.): rejeita a hipótese atomística, a matéria deveria ser contínua e o vácuo não é físico, e propôs uma **quintessência** para preencher o vazio: o **éter**.

NA IDADE MÉDIA

NA IDADE MÉDIA

Prevaleceu a visão aristotélica

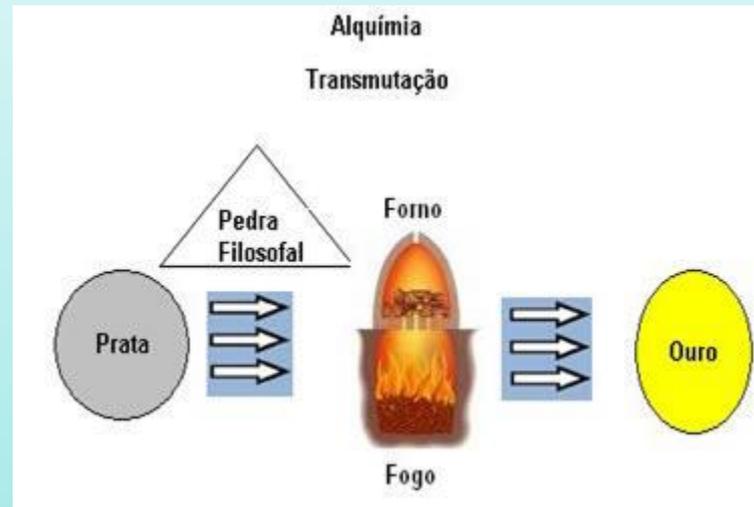
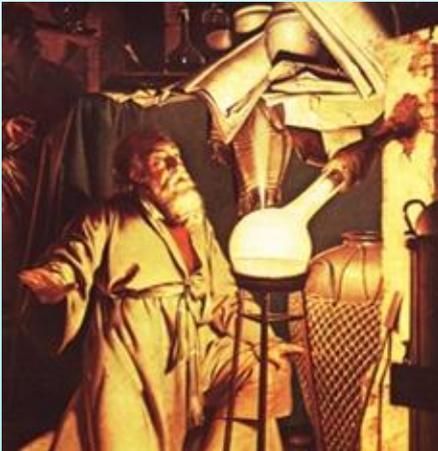
- Alquimia



NA IDADE MÉDIA

Prevaleceu a visão aristotélica

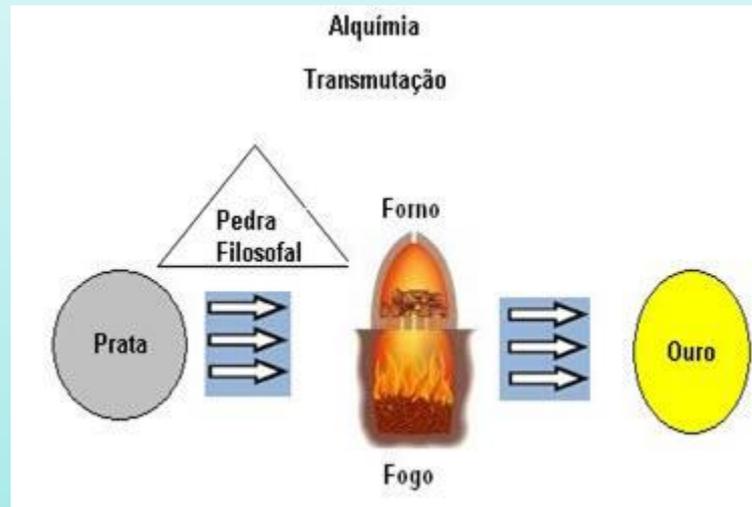
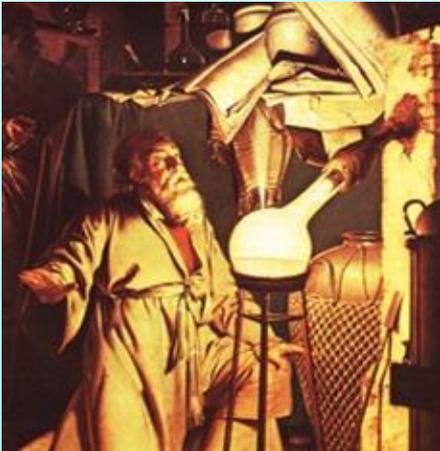
- Alquimia
- Metalurgia



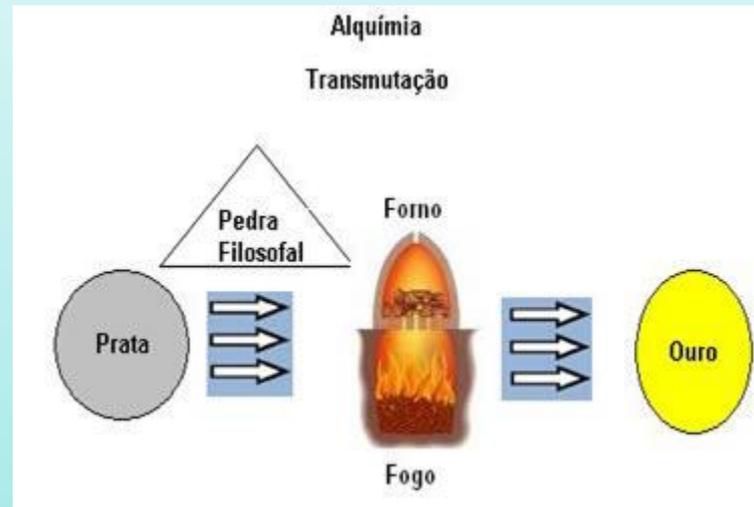
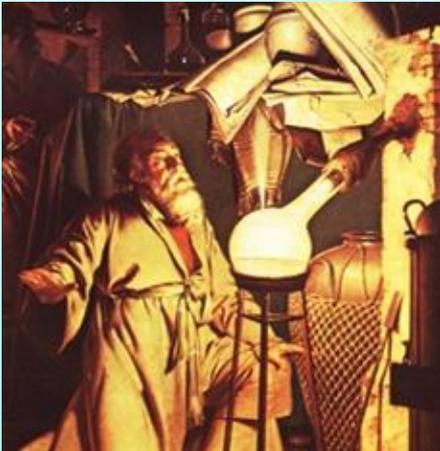
NA IDADE MÉDIA

Prevaleceu a visão aristotélica

- Alquimia → Química
- Metalurgia



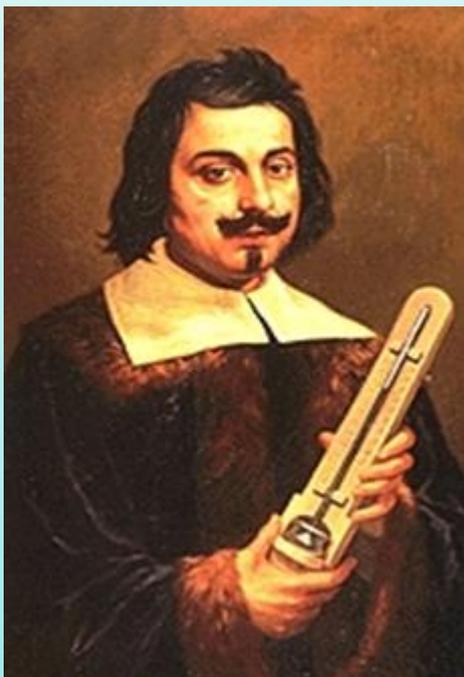
- Alquimia → Química
- Metalurgia



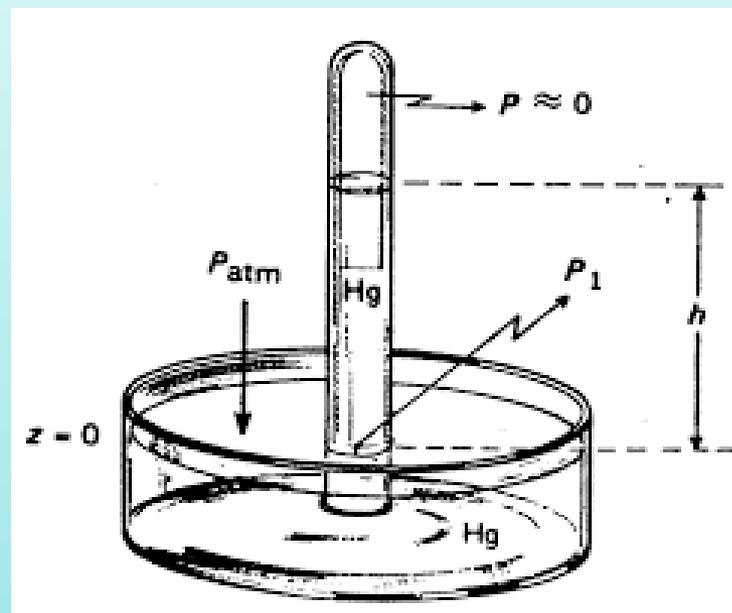
Dogma medieval: a natureza tem *horror ao vácuo*?

NA IDADE MODERNA

Dogma medieval: a natureza tem *horror ao vácuo*?



Evangelista Torricelli (1608 – 1647)



1643: o barômetro de mercúrio.

NA IDADE MODERNA

Dogma medieval: a natureza tem *horror ao vácuo*?



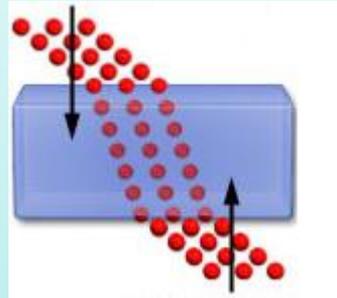
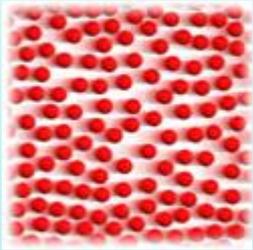
Otto von Guericke (1602-1686)



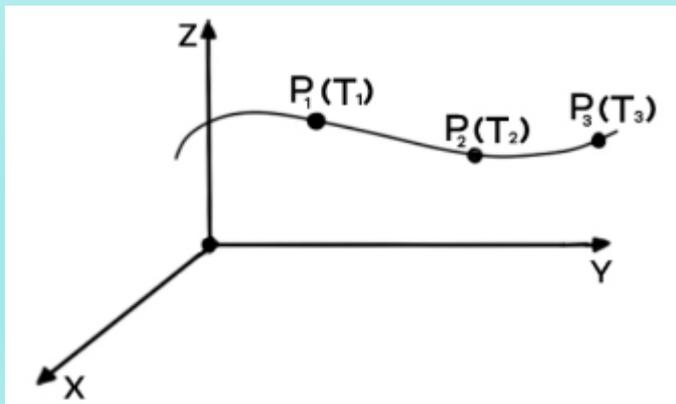
1654 Esferas de Magdeburgo

NO SÉCULO XVII

Newton adota a teoria corpuscular
(na óptica e na mecânica):



Isaac Newton (1643 - 1727)



$$1) \sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{v} = cte$$

$$2) \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$$

$$3) \vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”

Exemplo: $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

80 g + 98 g → 142 g + 36 g



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”

Exemplo: $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

80 g + 98 g → 142 g + 36 g

$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”

Exemplo: $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

80 g + 98 g → 142 g + 36 g

$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”

Exemplo: $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

80 g + 98 g → 142 g + 36 g

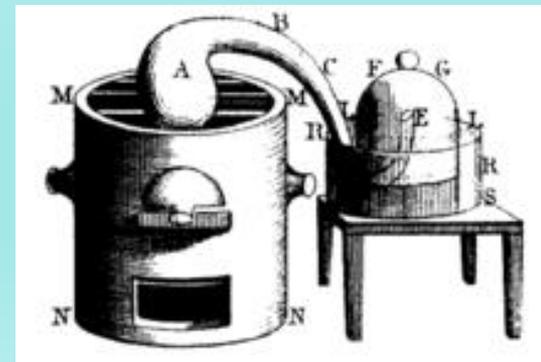
$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

- **1778** Identificou e batizou o oxigênio, desmitificando a teoria do *flogisto* e formulando a teoria da combustão



NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



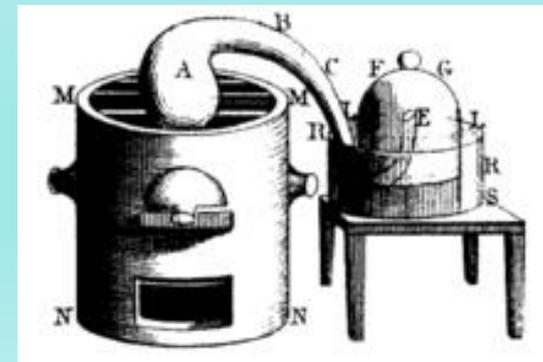
$$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

- **1778** Identificou e batizou o oxigênio, desmitificando a teoria do *flogisto* e formulando a teoria da combustão;
- Identificou e/ou previu outros elementos: H, Si, S, ... colaborando na nomenclatura dos elementos químicos



NO SÉCULO XVIII

1774 Lavoisier estabelece a lei da conservação da massa: “em uma reação química, feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.”



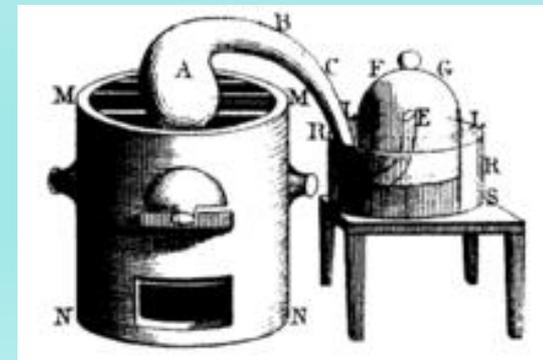
$$\sum m_i = 178 \text{ g} = \sum m_f = 178 \text{ g}$$



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

“Na natureza, nada se cria, nada se destrói, mas tudo se transforma.”

- **1778** Identificou e batizou o oxigênio, desmitificando a teoria do *flogisto* e formulando a teoria da combustão;
- Identificou e/ou previu outros elementos: H, Si, S, ... colaborando na nomenclatura dos elementos químicos;
- Contribuiu na construção do **sistema métrico** ...



NO SÉCULO XVIII

1794 Proust estabelece a lei da composição constante: “na formação de um determinado composto, seus elementos constituintes combinam-se sempre na mesma proporção de massa, independente da origem ou modo de preparação do composto.”



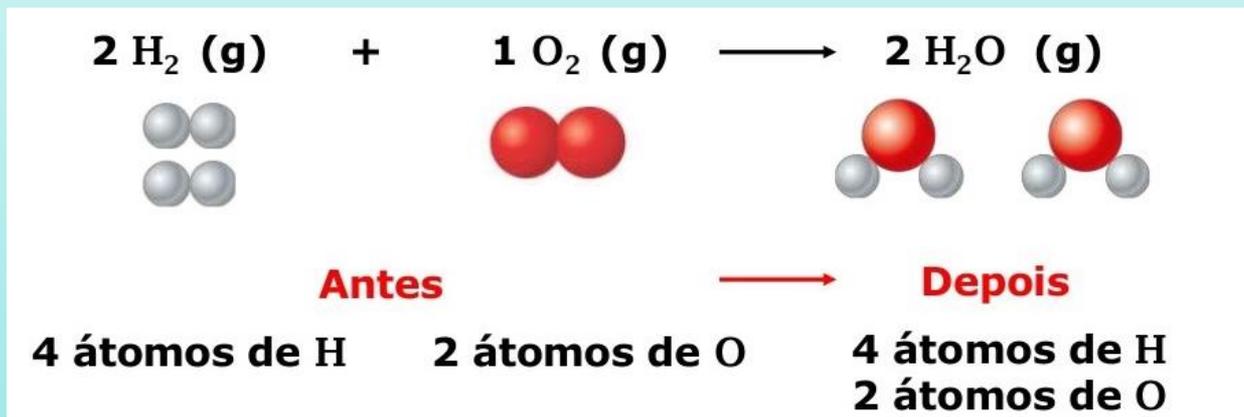
Joseph Louis Proust (1754-1826)

NO SÉCULO XVIII

1794 Proust estabelece a lei da composição constante: “na formação de um determinado composto, seus elementos constituintes combinam-se sempre na mesma proporção de massa, independente da origem ou modo de preparação do composto.”



Joseph Louis Proust (1754-1826)



Antes \longrightarrow **Depois**

4 átomos de H **2 átomos de O** **4 átomos de H**
2 átomos de O **2 átomos de O**

NO SÉCULO XIX

1803 Dalton estabelece uma base científica para a hipótese atomística.



John Dalton (1766-1844)

NO SÉCULO XIX

1803 Dalton estabelece uma base científica para a hipótese atomística com sua lei da composição constante: “dois elementos (A e B) que formam uma série de componentes combinam-se numa razão de pequenos números inteiros”.



John Dalton (1766-1844)

NO SÉCULO XIX

1803 Dalton estabelece uma base científica para a hipótese atomística com sua lei da composição constante: “dois elementos (A e B) que formam uma série de componentes combinam-se numa razão de pequenos números inteiros”.

CO_2 , H_2O , CO , H_2O_2 , CH_4 , C_2H_2 , ...

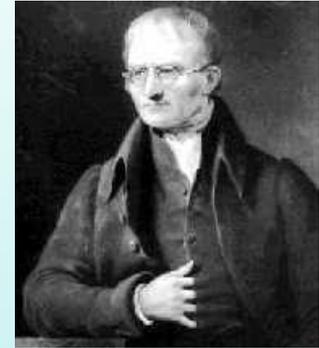


John Dalton (1766-1844)

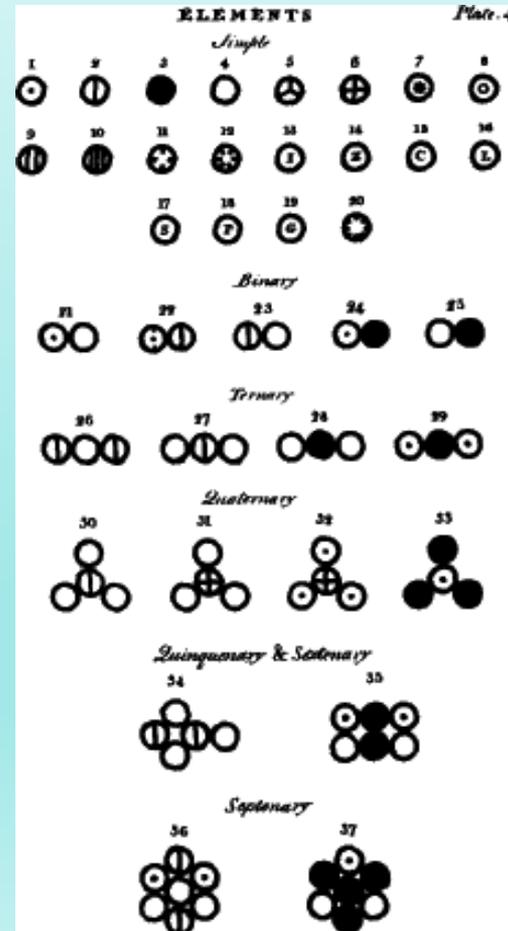
NO SÉCULO XIX

1803 Dalton estabelece uma base científica para a hipótese atomística com sua lei da composição constante: “dois elementos (A e B) que formam uma série de componentes combinam-se numa razão de pequenos números inteiros”.

CO_2 , H_2O , CO , H_2O_2 , CH_4 , C_2H_2 , ...



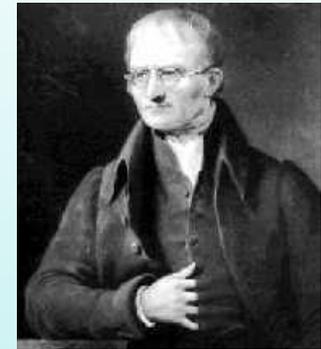
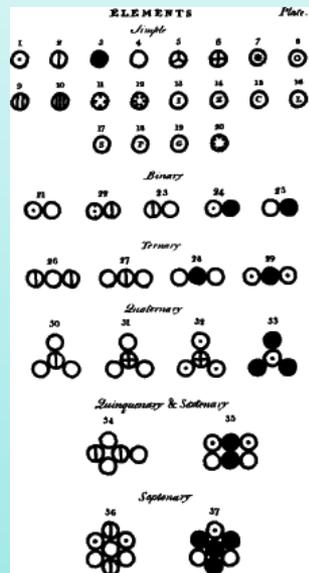
John Dalton (1766-1844)



NO SÉCULO XIX

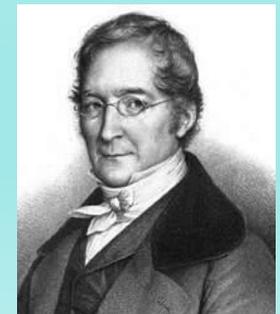
1803 Dalton estabelece uma base científica para a hipótese atomística com sua lei da composição constante: “dois elementos (A e B) que formam uma série de componentes combinam-se numa razão de pequenos números inteiros”.

CO₂, H₂O, CO, H₂O₂, CH₄, C₂H₂,



John Dalton (1766-1844)

1808 Joseph-Louis Gay-Lussac: “a razão dos volumes de gases usados para produzir uma reação química é representada por pequenos números inteiros”.



Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850)

NO SÉCULO XIX

1811 Avogadro: “Sob as mesmas condições de temperatura e pressão, iguais volumes de todos os gases contêm o mesmo número de moléculas”.



Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856)

NO SÉCULO XIX

1811 Avogadro: “Sob as mesmas condições de temperatura e pressão, iguais volumes de todos os gases contêm o mesmo número de moléculas”.



Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856)

hoje: $N_A \approx 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

NO SÉCULO XIX

1811 Avogadro: “Sob as mesmas condições de temperatura e pressão, iguais volumes de todos os gases contêm o mesmo número de moléculas”.



Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856)

hoje: $N_A \approx 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1865 Loschmidt obtém uma primeira aproximação do número de Avogadro, determinando o diâmetro da molécula de ar (10^{-9} m) pelo coeficiente de condensação e o livre caminho médio.

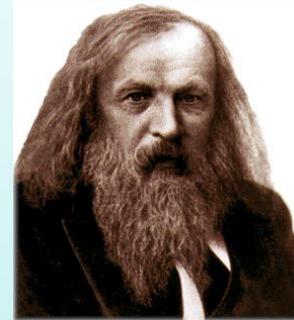


Número de Loschmidt = $2,686763 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$

Johann Josef Loschmidt (1821-1895)

NO SÉCULO XIX

1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



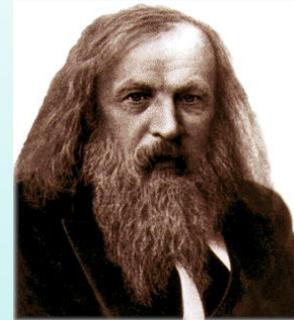
Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Tl = 50	Zr = 90	? = 180.
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
	Ni = 59	Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199.
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137
		? = 45	Ce = 92	Pb = 207.
		?Er = 56	La = 94	
		?Yt = 60	Di = 95	
		?In = 75,6	Th = 118?	

NO SÉCULO XIX

1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Тl = 50	Zr = 90	? = 180.
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Periodic Table of Elements based on Mendeleev's Periodic Law

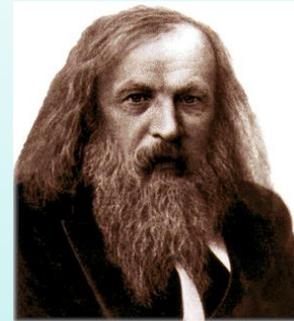
0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
He 4,00	H 1,01	Li 6,94	Be 9,01	B 10,8	C 12,0	N 14,0	O 16,0	F 19,0
Ne 20,2	Na 23,0	Mg 24,3	Al 27,0	Si 28,1	P 31,0	S 32,1	Cl 35,5	
Ar 40,0	K 39,1	Ca 40,1	Sc 45,0	Ti 47,9	V 50,9	Cr 52,0	Mn 54,9	Fe 55,9
								Co 58,9
								Ni 58,7
Kr 83,8	Rb 85,5	Sr 87,6	Y 88,9	Zr 91,2	Nb 92,9	Mo 95,9	Tc (99)	Ru 101
								Rh 103
								Pd 106
Xe 131	Ce 133	Ba 137	La 139	Hf 179	Ta 181	W 184	Re 186	Os 194
								Ir 192
								Pt 195
Rn (222)	Fr (223)	Ra (226)	Ac (227)	Th (232)	Pa (231)	U (238)		

■ Lanthanide series
■ Actinide series
● Known to Ancients
 Dobereiner's triads
 Known to Mendeleev

Property	Eka-aluminium	Gallium
Atomic mass	68	69.723
Density (g/cm ³)	6.0	5.91
Melting point (°C)	Low	29.76
Oxide	Formula	Ea ₂ O ₃
	Density	5.5 g/cm ³
	Solubility	Soluble in both alkalis and acids
Chloride	Formula	Ea ₂ Cl ₆
	Volatility	Volatile

NO SÉCULO XIX

1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Тl = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.	
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.	
		Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.	
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200	
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Periodic Table of Elements based on Mendeleev's Periodic Law

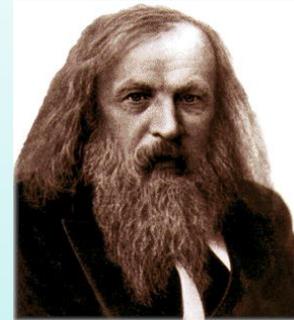
0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
He 4,00	H 1,01	Li 6,94	Be 9,01	B 10,8	C 12,0	N 14,0	O 16,0	F 19,0
Ne 20,2	Na 23,0	Mg 24,3	Al 27,0	Si 28,1	P 31,0	S 32,1	Cl 35,5	
Ar 40,0	K 39,1	Ca 40,1	Sc 45,0	Ti 47,9	V 50,9	Cr 52,0	Mn 54,9	Fe 55,9
	Cu 63,5	Zn 65,4	Ga 69,7	Ge 72,6	As 74,9	Se 79,0	Br 79,9	Co 58,9
Kr 83,8	Rb 85,5	Sr 87,6	Y 88,9	Zr 91,2	Nb 92,9	Mo 95,9	Tc (99)	Ru 101
	Ag 108	Cd 112	In 115	Sn 119	Sb 122	Te 128		Rh 103
Xe 131	Ce 133	Ba 137	La 139	Hf 179	Ta 181	W 184	Re 186	Pd 106
	Au 197	Hg 201	Tl 204	Pb 207	Bi 209	Po (210)	At (210)	Os 194
Rn (222)	Fr (223)	Ra (226)	Ac (227)	Th 232	Pa (231)	U 238		Ir 192
								Pt 195

Legend:
 Dobereiner's triads
 Known to Mendeleev
 Lanthanide series
 Actinide series
 Known to Ancients

Property	Eka-silicon	Germanium
Atomic mass	72	72.630
Density (g/cm ³)	5.5	5.323
Melting point (°C)	High	938
Color	Grey	Grey
Oxide	Type	Refractory dioxide
	Density (g/cm ³)	4.7
	Activity	Feebly basic
Chloride	Boiling point	Under 100 °C
	Density (g/cm ³)	1.9

NO SÉCULO XIX

1869 Dmitri Mendeleev montou uma tabela com as propriedades periódicas dos 63 elementos conhecidos.



Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Tl = 50	Zr = 90	? = 180.
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
	Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.	
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137
		? = 45	Ce = 92	Pb = 207.
		?Er = 56	La = 94	
		?Yt = 60	Di = 95	
		?In = 75,6	Th = 118?	

$m_{Cl} = 35,5?$

