

**Universidade de São Paulo  
Instituto de Física**

# **FÍSICA MODERNA I**

---

## **AULA 01**

**Profa. Márcia de Almeida Rizzutto  
Pelletron – sala 220  
rizzutto@if.usp.br**

**2o. Semestre de 2018  
Monitor: Felipe Prado**

Horário	
2a feira	10:00 as 12:00
4a feira	08:00 as 10:00
<b>Sala 208 , Ala II</b>	
Monitor: Felipe Prado	

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=64495>

### Objetivos

- O objetivo da disciplina é estudar alguns fenômenos e ideias que fizeram a transição da chamada física clássica para a física do século XX, visando apresentar as bases da mecânica quântica.

# Conteúdo

- **Panorama da Física no final do século XIX**
- **Natureza Ondulatória da Radiação eletromagnética**
  - Radiação Térmica – Hipótese de Planck
- **Dualidade onda – partícula: Radiação eletromagnética e as propriedades corpusculares**
  - Efeito fotoelétrico
  - Efeito Compton
  - Produção e aniquilação de pares
  - Difração de raios-X
- **Dualidade onda – partícula: Matéria e as propriedades corpusculares**
  - Natureza atômica da matéria
  - Modelo de Thomson
  - Modelo de Rutherford
  - Modelo de Bohr
- **Dualidade onda – partícula: Matéria e as propriedades ondulatórias**
  - Postulado de de Broglie
  - Difração de elétrons,
  - Difração de Bragg
  - Princípios de incerteza
- **Teoria de Schroedinger da Mecânica Quântica**
  - Equação de Schroedinger – equação de onda para o elétron
  - Autofunções e autovalores
  - Valores esperados
  - Potenciais nulo, degrau e poço quadrado
- **Átomo de Hidrogênio**

# Bibliografia

- Eisberg, R. Resnick: “**Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**”, ed. Campus.
- Paul A. Tipler e Ralph A. Llewellyn – “**Física Moderna**”, Terceira Edição, ed. LTC (2001).
- F. Caruso e V. Oguri - “**Física Moderna, origens clássicas e fundamentos quânticos**”, Ed. Campus, RJ, 2006.
- Stephen T. Thornton, e Andrew Rex – “**Modern Physics for Scientists and Engineers**”, Third Edition
- Serway, Moses e Moyer – “**Modern Physics**” - copyright 2000.
- J.J. Brehm e W.J. Mullin, John Wiley and Sons, “***Introduction to the structure of matter, a course in modern physics***”, USA, 1989.
- Kenneth Krane - “**Modern Physics**”
- Notas de aula do Prof. Roberto Ribas – IFUSP

# Atividades

- Aulas expositivas
- Listas de exercícios e discussões em sala de aula
- Crédito Trabalho

## **Credito Trabalho**

- 2 créditos trabalho = 4 horas de dedicação semanal  
**(obrigatório!)**

Preparação de material didático/ material de divulgação para alunos do ensino médio sobre algum tema abordado nesta disciplina

# Avaliação

- **E** = média simples das (n-1) avaliações dos trabalhos (listas de exercícios ou provinhas) onde n é o número total de trabalhos solicitados,
- **M<sub>p</sub>** = A média das notas das 3 provas (P1, P2, P3 ou P4)
- 
- **P4** = prova substitutiva com toda a matéria e irá substituir uma eventual ausência em uma das provas (P1-P3) ou alguma nota
- 
- **Credito-trabalho (CT)**. É necessário obter uma nota maior ou igual a 5.0 (cinco) nas atividades do crédito trabalho para a aprovação na disciplina.
- 
- A média final  $M_f$  é calculada como:

$$M = 0,8M_p + 0,2E$$

- $M_f \geq 5.0$  aprovado
- $M_f < 5.0$  reprovado

$$M_f = \frac{2M + CT}{3}$$

# Calendários de Provas e Crédito Trabalho

Primeira prova	17 de setembro	Apresentação CT	6 agosto
Segunda prova	29 de outubro	Entrega proposta CT	21 de setembro
Terceira prova	26 de novembro	Entrega plano trabalho CT	19 de outubro
Quarta prova	3 de dezembro	Entrega material CT	16 de novembro
		Apresentação CT 1	21 de novembro
		Apresentação CT 2	28 de novembro
		Apresentação CT 3	5 de dezembro

# Física

- Física macroscópica → Física microscópica
- Do que é feita a matéria ? Como é a estrutura da Matéria
- Informações cronológicas – evidências para a descrição atômica da matéria

**Evidências da descrição atômica da matéria???**

**As origens do atomismo científico**



Na Grécia antiga, Empédocles (~492 - 432 AC) classificou a matéria em quatro elementos:

**água, terra, ar e fogo**

Esses 4 elementos eram envolvidos por: **amor** e **ódio**.

O **amor** une os elementos.

O **ódio** os separa.

A mistura dos elementos cria todas as coisas.



# Os atomistas gregos

A palavra átomo vem de “a-tomos” (Leucipo de Mileto) que em grego significa indivisível (420AC). Demócrito de Abdera (~460-370 AC) ensinava que a matéria era constituída de partículas em movimento perpétuo com as seguintes propriedades:

- invisíveis (muito pequenas)
- indivisíveis
- sólidas (sem espaço vazio interno)
- cercadas de espaço vazio (para se movimentar)
- com infinitas formas (explica a multi-formas da Natureza)



## Mas os gregos não detinham o monopólio...

It is from a book on the *Bhagavad Gita*:  
"The phenomenal world or material world is also complete in itself because the **twenty-four elements** of which this material universe is a temporary manifestation are completely adjusted to produce complete resources which are necessary for the maintenance and subsistence of this universe. There is nothing extraneous, nor is there anything needed. This manifestation has its own time fixed by the energy of the supreme whole, and when its time is complete, these temporary manifestations will be annihilated by the complete arrangement of the complete. There is complete facility for the small complete units, namely the living entities, to realize the complete, and all sorts of incompleteness are experienced due incomplete knowledge of the complete."

Today, We discovered there are 12 particles and the 12 corresponding antiparticles, from which we get **24 building blocks** for all existing matter.

Na Índia existia uma filosofia (sistema **Vaiseshika**) que também afirmava ser a matéria composta por átomos indestrutíveis.

De um livro sobre o *Bhagavad Gita*:  
O fenomenal mundo material é completo porque os **24 elementos** que o compõem são uma manifestação temporária totalmente ajustada para produzir os recursos que são necessários para a manutenção e subsistência desse Universo. Essa manifestação tem seu próprio tempo dado pela energia da entidade suprema e quando esse tempo se completar, essa manifestação temporária será aniquilada....

## O “Grande Plano” da alquimia na Idade Média...

...era obter a transmutação dos elementos. Transformar elementos comuns em metais nobres como o ouro. Apesar das crenças esotéricas e do insucesso, os alquimistas (precursores do químico moderno) desenvolveram os métodos experimentais de observação e classificação dos elementos...

- Em 1662, Newton tenta explicar a lei de Boyle (1627-1691)

$$PV = \text{cte} \quad (\text{se } T = \text{cte})$$

tratando gases como partículas rígidas estáticas que se repelem mutuamente com força inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as partículas

- Em ~1738, Bernulli fez a primeira descrição cinética dos gases.

Formulou um modelo similar ao que apareceu mais de um século depois, conseguindo antecipar inclusive propriedades dos gases que só seriam conhecidas cerca de 50 anos depois

- Em 1799, o químico francês Joseph Louis Proust, baseado em suas experiências, formulou a **lei das proporções definidas**: “*Um composto é formado combinando elementos sempre nas mesmas proporções em peso*”.

Ex.

1 g de Hidrogênio + 8 g de Oxigênio = 9 g de água

2 g de Hidrogênio + 16 g de Oxigênio = 18 g de água

2 g de Hidrogênio + 8 g de Oxigênio = 9 g de água + 1 g de H que não se mistura

A lei foi “provada” com resultados inadequados. Alguns compostos eram não estequiométricos:

**incerteza experimental > lei**

# John Dalton (pai da teoria atômica)

1808 – 1810 expôs algumas idéias básicas:

1. A existência de átomos, indivisíveis e imutáveis (não podiam ser transmutados uns nos outros nos processos químicos como queriam os alquimistas)
2. Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos
3. Compostos químicos são formados por combinações de átomos



o que Dalton chamava de “átomo composto”



hoje chamamos de moléculas

# John Dalton (pai da teoria atômica)

A interpretação de Dalton da lei das proporções definidas:  
Proporções representam diferentes pesos atômicos dos elementos

Ex.

12g de Carbono + 16g de Oxigênio = 28 g de monóxido de carbono

a massa de 1 átomo de C =  $\frac{12}{16}$  da massa de 1 átomo de O  
↓

Esta interpretação também explicava a **lei das proporções múltiplas**: 12g de C + 32g de O = 44 g de gás carbônico, deste modo a proporção de oxigênio em relação ao outro será 2:1

Na linguagem moderna: a interpretação de Dalton era que a fórmula química do monóxido de carbono é CO e a da molécula de gás carbônico é CO<sub>2</sub>



# Joseph Louis Gay-Lussac

1808 estudando reações químicas entre gases  
(mesmas condições de temperatura e pressão)



Descobriu a **lei das combinações volumétricas**:

2 vol. de gás Hidrogênio + 1 vol. de gás Oxigênio = 2 vol. de vapor de água

2 vol. de gás hidrogênio + 1 vol. de gás cloro = 2 vol. de gás ácido clorídrico

Dalton interpretava  $\text{H} + \text{Cl} \longrightarrow \text{HCl}$

Isto deveria levar a somente um volume e não dois !!!!!.....???????

**Dificuldade:** perceber que as “partículas” que formam o gás de H não precisam ser átomos de H, podem ser formadas por mais de um átomo (hoje sabemos que o gás de H é diatômico  $\longrightarrow \text{H}_2$ )

Dalton se opôs a estas ideias porque ele aparentemente não entendia a diferença entre átomos e moléculas – ele não imaginava que átomos de um mesmo elemento pudessem se combinar

# Amedeo Avogadro (físico-italiano - 1776-1856)

1811 enunciou duas hipóteses básicas para a teoria atômica\*:

- 1) As “partículas” que formam um gás “simples” não são necessariamente formadas por um único átomo, mas podem conter um certo n° de átomos ligados entre si.
- 2) Nas mesmas condições de T e P, volumes iguais de gás contém o mesmo n° de moléculas.



Lei de Avogadro:

Volumes iguais de todos os gases, nas mesmas condições de T e P, contém o mesmo n° de moléculas

Propôs a existência (introduziu o conceito) de moléculas consistindo de átomos individuais ou combinados

\* mas não foram aceitas até meados do século XIX

Uma vez conhecida as fórmulas químicas das substâncias, os métodos de Dalton poderiam ser empregados para estabelecer uma escala relativa de massa atômica e moleculares  
Adotou-se a unidade de massa a do átomo de H (elemento + leve)

$$m_{\text{H}} = 1 \quad m_{\text{H}_2} = 2$$

Como:  $4\text{g (H}_2) + 32\text{g (O}_2) \longrightarrow 36\text{ g (H}_2\text{O)}$

$$m_{\text{O}_2} = 32 \quad m_{\text{O}} = 16 \quad m_{\text{H}_2\text{O}} = 18$$

Como:  $12\text{g (C)} + 32\text{g (O}_2) \longrightarrow 44\text{ g (CO}_2)$

$$m_{\text{C}} = 12$$

Mais tarde veremos que cada elemento pode ter mais de um isótopo (mesmo Z) de massa atômica diferente na natureza com abundância diferente:

Exemplo:  $^{12}\text{C}, ^{13}\text{C}, ^{14}\text{C}$

# unidades

massa atômica (uma) é definida convencionando que a massa atômica do isótopo do  $^{12}\text{C}$  é exatamente 12 uma

Mol massa em g de uma substância pura igual a sua massa molecular

$$1 \text{ mol } (\text{H}_2) = 2\text{g}$$

$$1 \text{ mol } (\text{O}_2) = 32\text{g}$$

$$1 \text{ mol } (\text{H}_2\text{O}) = 18\text{g}$$

1 mol de qualquer substância tem sempre o mesmo n° de moléculas

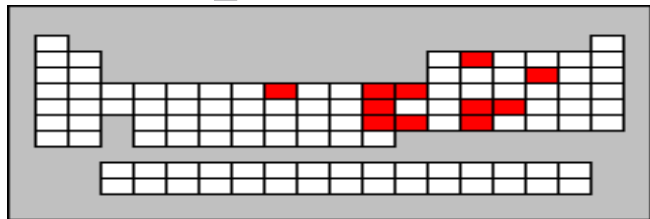
$$1 \text{ mol de gás} = 22,415 \text{ litros}$$

O n° de moléculas por mol chama-se **n° de Avogrado**

$$N_A = 6,03 \times 10^{23} \text{ moléculas/mol}$$

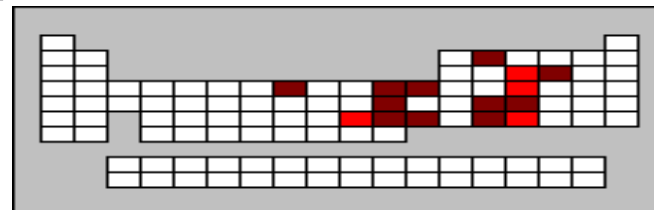
Pode-se utilizar  $N_A$  para estimar ordem de grandeza, massa de átomos, foi medida mais tarde e reconhecida como uma constante universal por Jean Perrin

# A tabela periódica no tempo (1500AC - 1900)



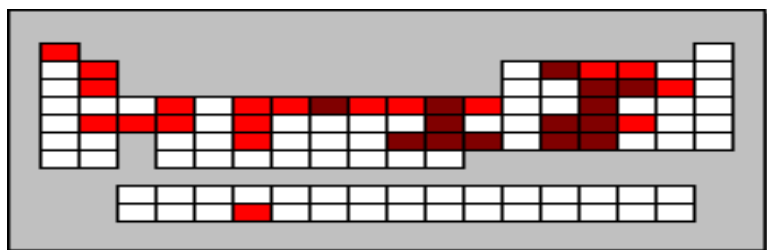
C,S,  
Fe,Zn,  
Cu,Ag,  
Hg,Au  
Pb e Sn

11 elementos conhecidos em 1500 AC



Pt, Bi  
P, As

15 elementos no final do Século 17



34 elementos no final do Século 18



82 elementos final do Século 19

Em 1869, o químico russo **Dimitri Mendeleiev** construiu uma tabela na qual classificava todos os elementos químicos conhecidos até aquele momento, de acordo com suas propriedades químicas. Mais tarde esta tabela serviu para classificar metodologicamente todos os átomos pelo seu número atômico (número de prótons que eles continham), tanto naturais como os produzidos pelo homem.

- Tabela periódica conhecida hoje

alcalinos      Alcalinos terrosos      Elementos de transição      Gases nobres

H																	He
Li	Be	Elementos de transição										B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	...	...	...						
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Hoje são conhecidos em torno de 109 elementos químicos