



# Universidade de São Paulo Instituto de Física

## FÍSICA MODERNA I

---

### AULA 02

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

2o. Semestre de 2017

Página do curso:

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=53869>

07/08/2017

# Bibliografia

- F. Caruso e V. Oguri - “**Física Moderna, origens clássicas e fundamentos quânticos**”, Ed. Campus, RJ, 2006.
- 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).
- 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

# Bibliografia

- F. Caruso e V. Oguri - **“Física Moderna, origens clássicas e fundamentos quânticos”**, Ed. Campus, RJ, 2006.

AULA ANTERIOR – CAPITULO 1, CAPITULO 2

AULA HOJE - CAPITULO 8

# Natureza

↓  
**Composta**

matéria

Radiação  
eletromagnética

↓  
**Descrição atômica**

partículas

↓  
**evidências**

?

Química

Teoria Cinética dos gases

Hipóteses levantadas para gás ideal + trabalhos da química, conduziram a ideia que a matéria é constituída de moléculas e átomos

# É possível estimar a ordem de grandeza do tamanho e massa de um átomo???

- Usando alguns pontos discutidos anteriormente:

1 mol de cada substância consiste de  $N_A = 6,03 \times 10^{23}$  moléculas

Hipótese: é possível considerar que num líquido o espaçamento entre as moléculas seja comparável com seu tamanho

Densidade da água:  $1 \text{ g/cm}^3$

1 mol de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 18g então tenho  $18 \text{ cm}^3 = N_A$  moléculas

$$\text{Então o volume de cada molécula} = \frac{18 \text{ cm}^3}{N_A} = \frac{18 \text{ cm}^3}{6 \times 10^{23}} = 3 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \sim d^3$$

O tamanho da molécula  $\sim 3 \times 10^{-8} \text{ cm} = 3 \times 10^{-10} \text{ m} = 3 \text{ \AA}$

Como tenho 3 átomos na molécula de  $\text{H}_2\text{O}$  logo o tamanho de cada átomo  $\sim 1 \text{ \AA}$

E a massa? 1 mol de  $\text{H}_2 = 2 \text{ g} = 2 N_A$

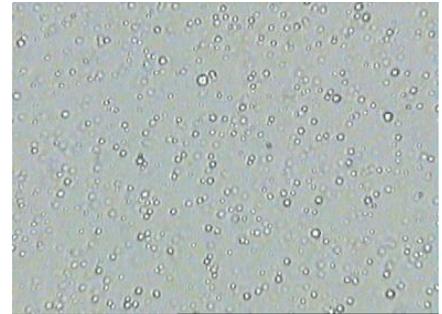
$$m_H = \frac{1}{N_A} \text{ g} = \frac{1}{6 \times 10^{23}} \text{ g} = 0,167 \times 10^{-23} \text{ g} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

# Outra evidência da visão corpuscular?

Em 1828 o botânico Inglês Roberto Brown descreveu o *movimento browniano*

Com o auxílio de um microscópio observou que os grãos de pólen de diversas plantas, quando colocadas na água (líquido), dispersavam em um grande número partículas microscópicas e executam movimentos irregulares.

Partículas de uma molécula primitiva da matéria viva



No entanto ele mesmo observou este mesmo movimento para a matéria inorgânica

No início do século XX tornou-se a prova mais convincente do existência das moléculas ou seja hipótese corpuscular da matéria

# Natureza

↓  
**Composta**

**matéria**

**Radiação  
eletromagnética**

↓  
**Descrição atômica**

**partículas**

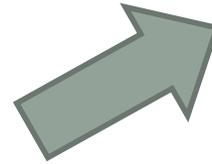
↓  
**evidências**

**Química**

**Teoria Cinética dos gases**

**Estudos do movimento browniano**

Concepção atomística da  
matéria.  
Até agora a indivisibilidade  
do átomo não foi  
questionada



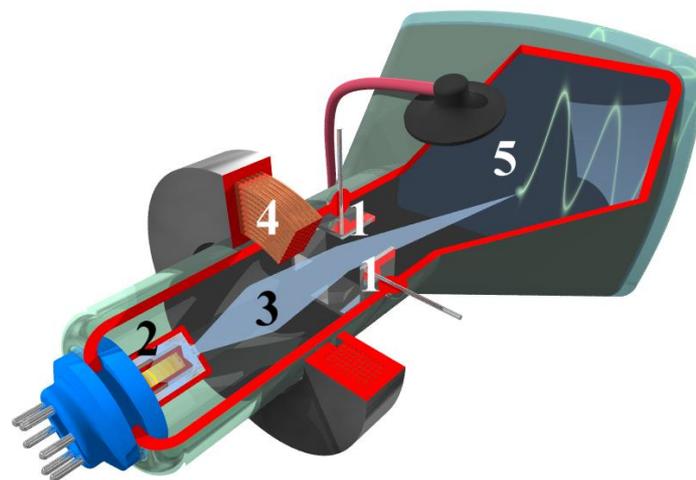
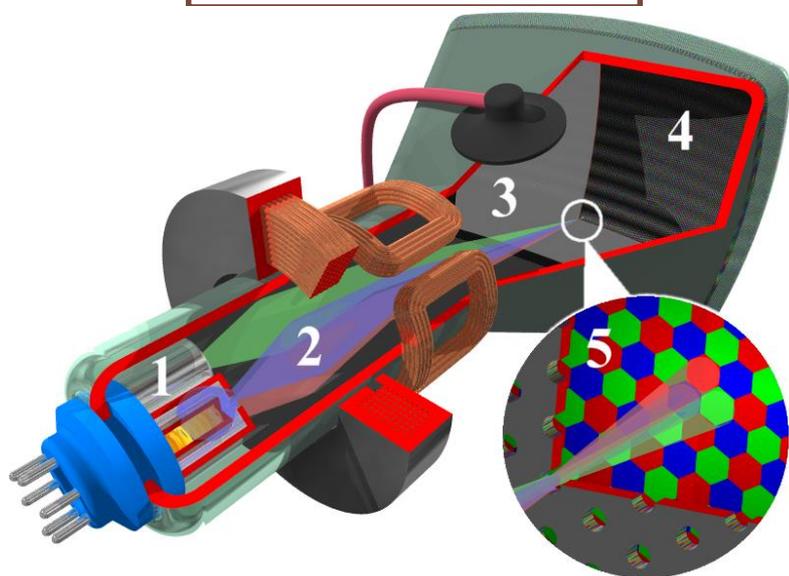
# Evidências experimentais que sugeriram a divisibilidade do átomo - existência de uma subestrutura (no entanto só compreendido no século XX)

A partir de 1857, aperfeiçoamento das técnicas experimentais com trabalhos de vidros e máquina de fazer vácuo - condições de realizar experimentos para compreensão da

Tubos de raios catódicos

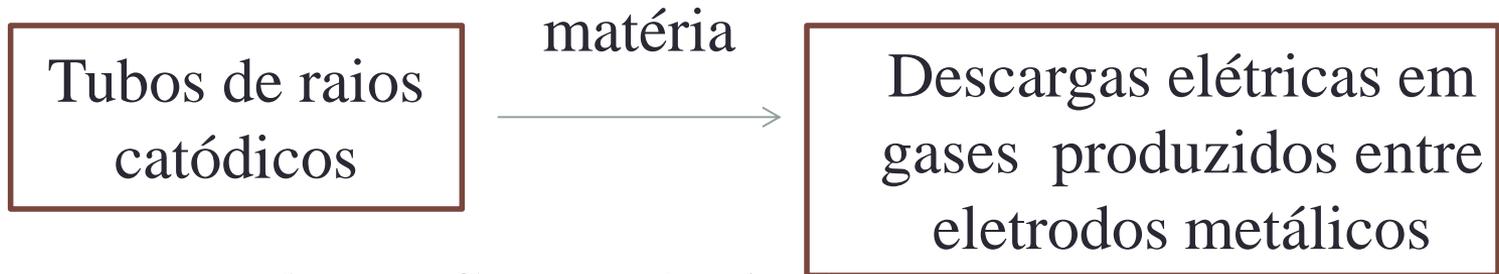
matéria

Descargas elétricas em gases produzidos entre eletrodos metálicos

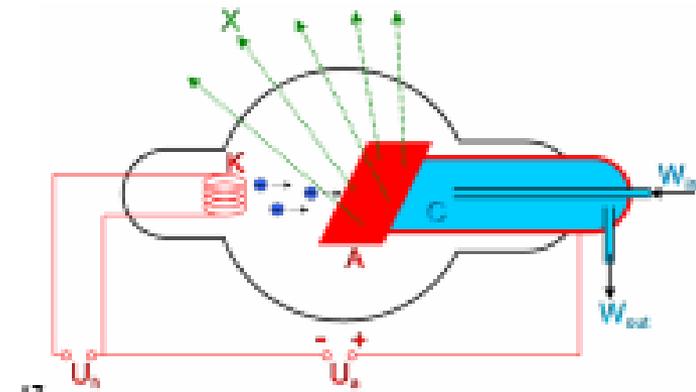


# Evidências experimentais que sugeriram a divisibilidade do átomo - existência de uma subestrutura (no entanto só compreendido no século XX)

A partir de 1857, aperfeiçoamento das técnicas experimentais com trabalhos de vidros e máquina de fazer vácuo - condições de realizar experimentos para compreensão da estrutura da



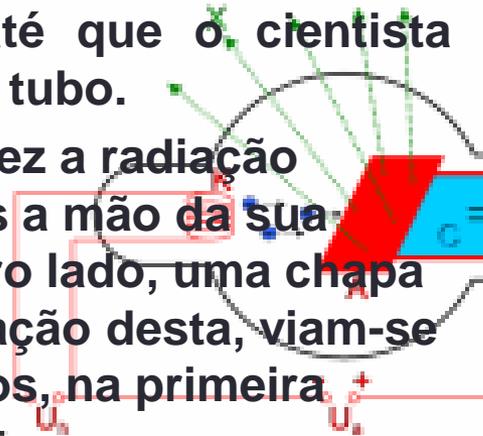
**W. Röntgen** estudava a fluorescência de certas substâncias e queria testar os raios catódicos interagindo com estas substâncias, no entanto os raios possuem alcance de poucos centímetros no ar. Mas o cartão fluorescente foi atingido a alguns metros. **Descoberta dos raios X em 1895**



Tubo moderno de raios X

# Raio X - 1895, pelo físico W. Röntgen (1845-1923)

- Ele percebeu que quando estava trabalhando com um tubo de raios catódicos ele conseguia ver um brilho de uma placa de um material fluorescente.
- Este brilho persistiu mesmo quando o físico colocou um livro e uma folha de alumínio entre o tubo e a placa.
- Passaram-se semanas até que o cientista entendesse o que saía do tubo.
- Em Dezembro, Rontgen fez a radiação atravessar por 15 minutos a mão da sua mulher, atingindo, do outro lado, uma chapa fotográfica. Após a revelação desta, viam-se nela as sombras dos ossos, na primeira radiografia da história.
- A existência e a importância desta radiação só foi, efetiva e merecidamente, reconhecida no século XX quando W. Roetgen recebeu o Prêmio Nobel da Física em 1901.

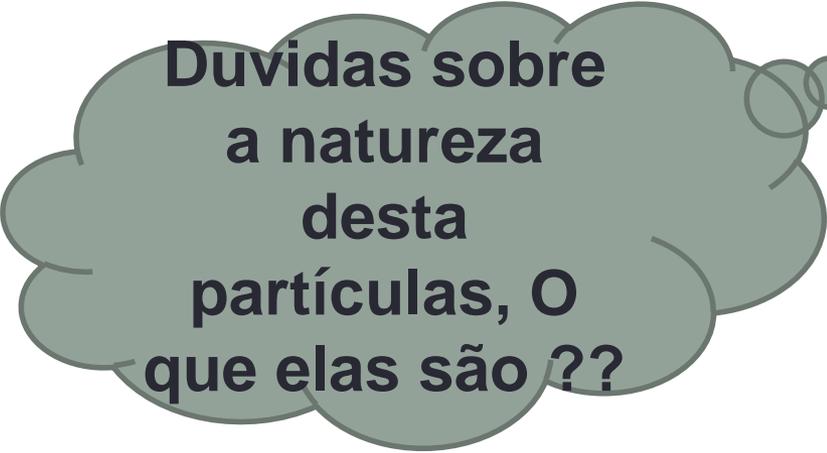


# Dúvidas:

Em 1894 apesar da luz ainda não ser bem compreendida, a comunidade ainda não entendia também os raios catódicos.

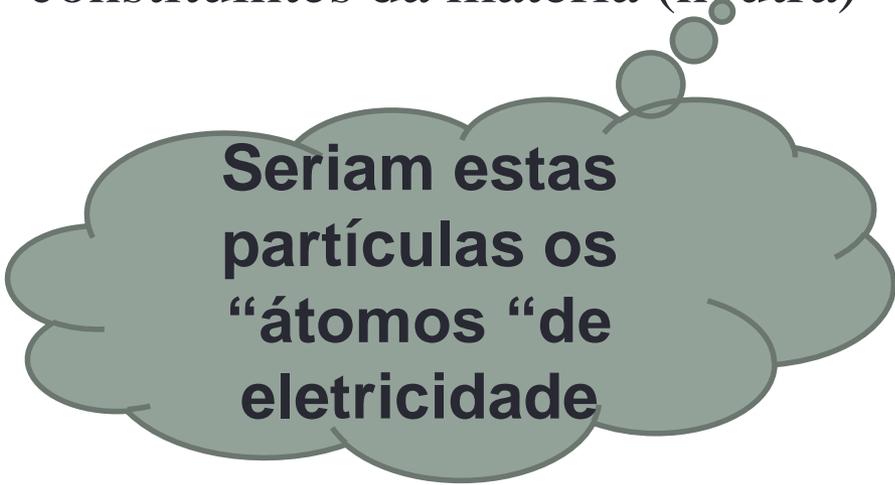
Os Ingleses concordavam com o caráter corpuscular.

No entanto Goldstein, Hertz, Lenard acreditavam que os raios catódicos fossem ondas eletromagnéticas



**Duvidas sobre a natureza desta partículas, O que elas são ??**

Não podiam ser átomos, os átomos eram neutros e eram constituintes da matéria (neutra)



**Seriam estas partículas os “átomos “de eletricidade**

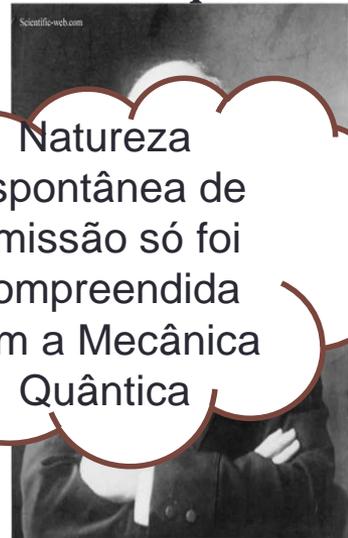
# Descoberta da radioatividade

- Com a descoberta dos raios X por Röntgen, Becquerel que já estudava fosforescência e fluorescência dos materiais, começou a indagar sobre as relações de emissão de raios X e a fluorescência.
- Ponto de partida: estudo de alguns materiais que se tornavam fosforescentes sob incidência de luz -  
**Pergunta: materiais eram capazes emitir qualquer tipo de radiação penetrante como os raios X**
- Sal de urânio possui fosforescência induzida por luz UV. Surpresa: marcavam filmes fotográficos mesmo no escuro – material era capaz de sensibilizar o material mesmo sem ser exposto ao sol
- Questão aberta: qual a natureza dos raios X observados por Röntgen e estes observados por Becquerel ?? “Raios urânicos”

Becquerel

Scientific-web.com

Natureza espontânea de emissão só foi compreendida com a Mecânica Quântica



# Descoberta da radioatividade

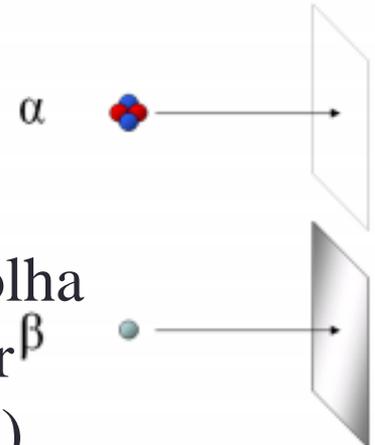
Madame Curie

- Madame Curie, a partir de 1897 refez os trabalhos de Becquerel – ir além – medidas quantitativas - descobre o Tório (Th) - Raios ~~urânicos~~ –
- **Radioatividade – termo para este fenômeno**
- Análise de várias rochas – as que possuíam Th e U emitiam mais radioatividade – possibilidade de descoberta de novos elementos
- Polônio e Rádio descobertos em 1898 - emissores de raios
- Muito trabalho para alcançar níveis maiores de purificação e concentração destes elementos
- Vários tipos de radiação são observados , relacionados ao poder de ionização e penetração na matéria

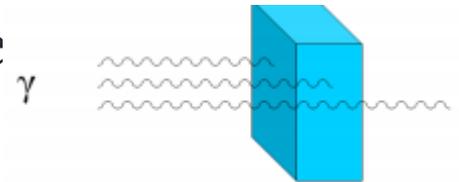


# Tipos de radiação

- Rutherford(1899) caracteriza dois tipos: alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ). Diferença entre elas: ionização e o poder de .....penetração.  $\alpha$ : altamente ionizante – blindadas por folha de papel.  $\beta$ : menos ionizantes – capazes de atravessar  $\beta$  camadas finas (radiografia pode ser feita com raios  $\beta$ )



- Villard (1900) encontrou uma terceira componente radiações - poder de penetração muito maior



- Pierre e Madame Curie (1902) mostraram que os raios  $\beta$  são elétrons
- Rutherford (1908) mostra que a radiação  $\alpha$  é equivalente ao elemento He.

# Ordem de grandeza da carga elétrica

- As primeiras estimativas das ordem de grandeza das cargas elétricas associadas aos átomos foram feitas a partir da Lei de Faraday
- Lei de eletrólise (1833) contribuiu para a descoberta da natureza elétrica das forças atômicas.

Experimento: Passar corrente por soluções fracamente condutoras com depósito dos componentes da solução nos eletrodos

Quantidade de eletricidade (F) - que decompõe 1 átomo-grama de um íon monovalente

Se 1F atravessa uma solução de NaCl aparecem 23g de Na e 35,5 g de Cl no anodo

No caso de íons de valência 2 (Cu e SO<sub>4</sub>) são necessários 2F para decompor 1 átomo-grama

$$F = N_A \cdot e$$

Lei de Faraday para a Eletrólise, mas ele não foi capaz de medir as grandezas

# Ordem de grandeza da carga elétrica

- Em 1874 Stoney sugeriu que a unidade mínima de carga fosse chamada de **elétron** e usou a estimativa de  $N_A$  da Teoria cinética dos gases para estimar (primeira estimativa)

$$e \approx 10^{-20} C$$

- 1880 Helmholtz observou experimentalmente que era impossível obter um submúltiplo desta carga
- 1897 Townsen – a primeira medida direta desta menor unidade de carga (método precursor do experimento de Millikan)
- 1896 P. Zeeman – ao examinar a luz emitida por átomos na presença de campo magnético obteve as primeiras provas da existência de partículas atômicas com relação entre massa e carga:  
1º estimativa:

$$\frac{q}{m} \approx 1,6 \cdot 10^{11} C / kg$$

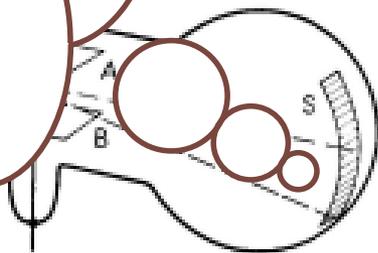
muito próximo ao que temos hoje  
 $1,750 \times 10^{11} C/Kg$   
Zeeman conclui que possuíam carga negativa

# Descoberta do elétron



Em 1897, **J.J. Thomson** estava estudando descargas elétricas em tubo de raios catódicos (Laboratório Cavendish – Inglaterra), tentando entender as descargas que ocorrem dentro desses tubos e descobre o primeiro componente que faz parte do átomo: **o elétron**, uma partícula com carga elétrica negativa.

Este feixe luminoso não podia ser luz pois em 1869 o feixe luminoso (dos raios catódicos) quando aproximado a um campo magnético eram desviados enquanto que luz não sofria este efeito

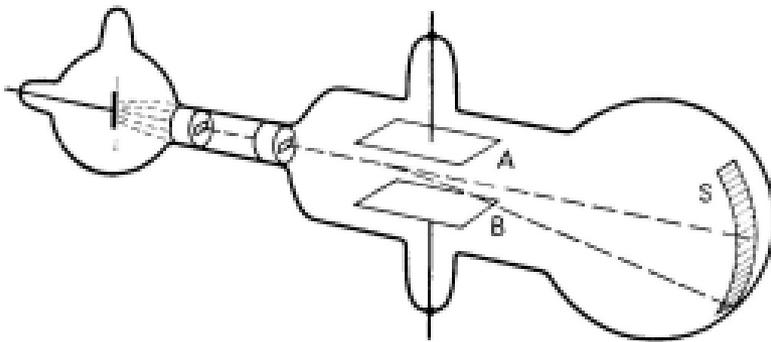


**Thomson** consegue medir a razão carga massa dessas partículas deste feixe luminoso. Este corpúsculo carregado identificado era exatamente o mesmo quaisquer que fossem os elementos do catodo, anodo e do gás dentro do tubo

# Medida experimental da e/m

**J.J. Thomson** uso de campos elétricos e magnéticos +  
tubo de raios catódicos

**Thomson** a partir da deflexão dos “raios catódicos”, do valor da tensão aplicada as placas internas do tubo, da distância entre estas placas ( $d$ ), dos comprimentos destas ( $\ell$ ) e do valor do campo magnético aplicado, foi possível obter a razão  $e/m$



Vamos fazer um exercício

