

**Universidade de São Paulo  
Instituto de Física**

**Física Aplicada  
Aula 17**

**Profa. Márcia de Almeida Rizzutto**

Edifício Oscar Sala – sala 220

[rizzutto@if.usp.br](mailto:rizzutto@if.usp.br)

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=24279>

**2º Semestre de 2016**

# Programa

- O Espectro Eletromagnético
  - Dimensões dos objetos
  - Produção de energia
- Revisão sobre ondas Mecânicas;
- Princípios de acústica - Efeito Doppler;
  - Imagens por Ultrassom
  - Levitação mecânica
- Revisão das Equações de Maxwell - Equação da onda eletromagnética
  - Ondas de rádio; TRC, LCD,
  - Estrutura atômica – Revisão de física moderna;
  - Efeito Fotoelétrico, Celulares solares, Modelo atômico
- Descrição dos princípios de geração dos Raios-X: Tubos de raios-X
  - Propriedades dos Raios-X – Difração, Absorção
  - Aplicações de raios X: e interação com a matéria
  - Imagens obtidas com Raios-X – Radiografia,
    - Fluorescência de raios X (XRF)
      - Tomografia.
      - Microscopia
  - Aceleradores de partículas e radiação Síncrotron
    - Uso de aceleradores para análise de materiais
      - Lasers e Aplicações
    - Física Aplicada e Reatores

Física Aplicada 2016

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
agosto						
	Aula 1		Aula 2			
	Aula 3		Aula 4			
	Aula 5		Aula 6			
	Aula 7		Aula 8			
setembro						
	SEMANA DA		PÁTRIA			
	AULA 9		não AULA			
	não AULA		não AULA			
	Aula 10		Aula 11/AP1			
outubro						
	Aula 12/AP2		Aula 13/AP3			
SEMANA FÍSICA	Aula 14		fériado			
	Aula 15/AP4		Aula 16/AP5			
	Aula 17/AP6		Aula 18 /AP7			
	Aula 19/AP8					
novembro			fériado			
	Aula 20		Aula 21			
	RECESSO	fériado	não AULA			
	Aula 22		Aula 23			
	Aula 24		Aula 25			
dezembro						
	PROVA					

# Calendário

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=24279>

# Laboratório para Análise de Materiais com Feixes Iônicos - LAMFI



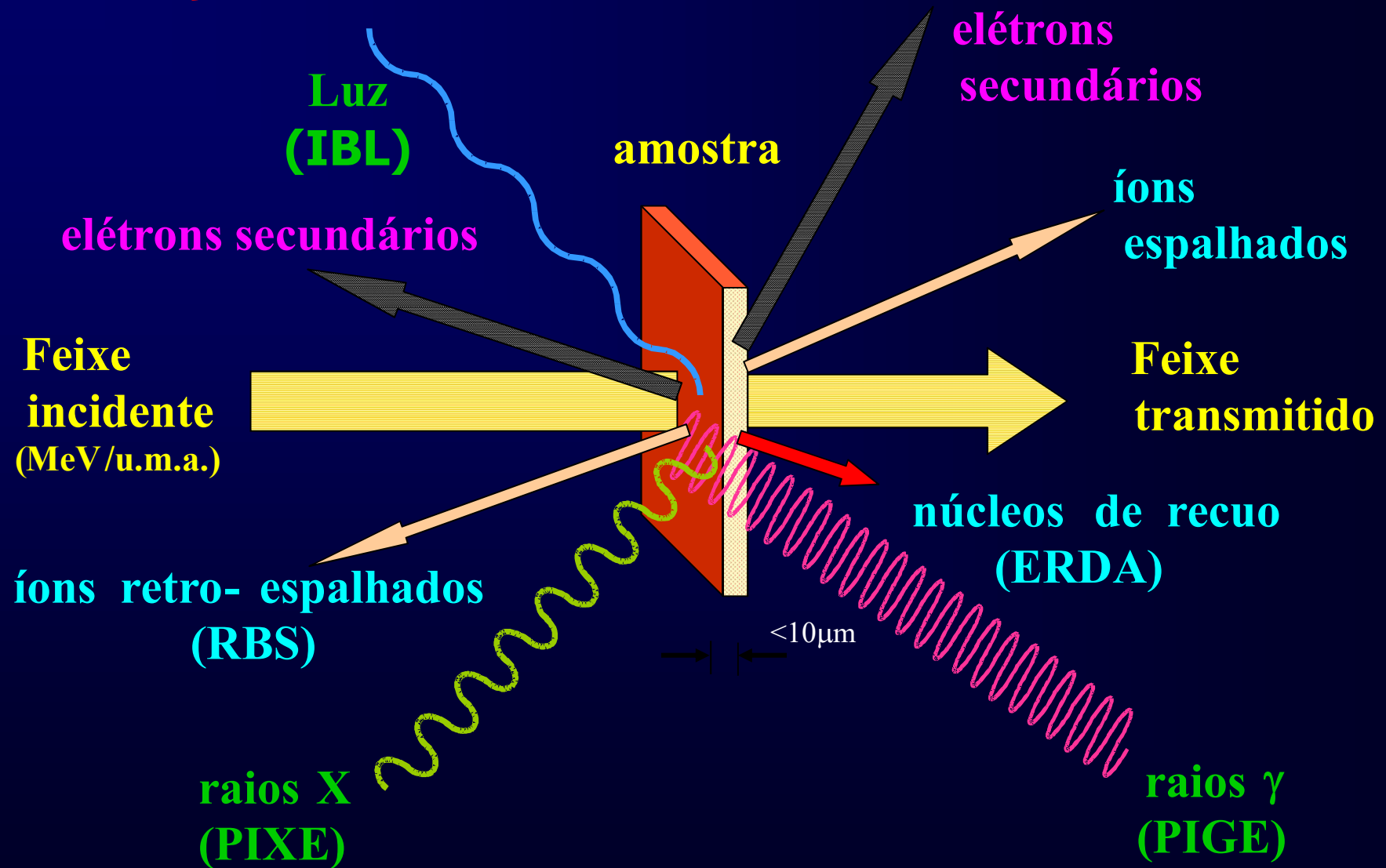
Console

Acelerador

Fontes de íons

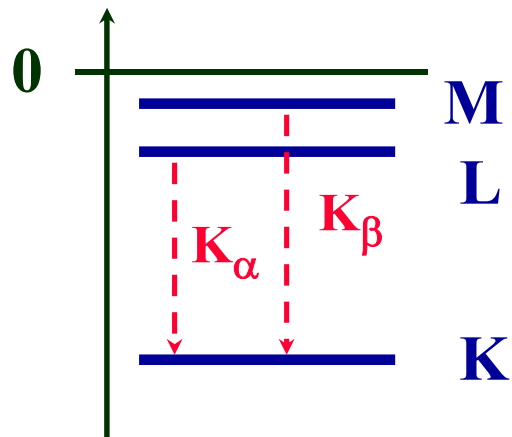
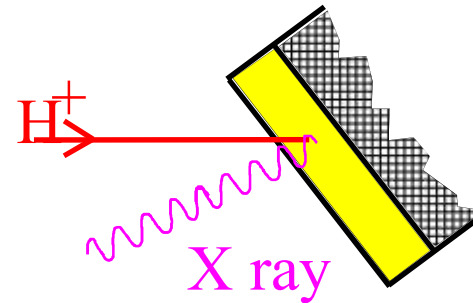
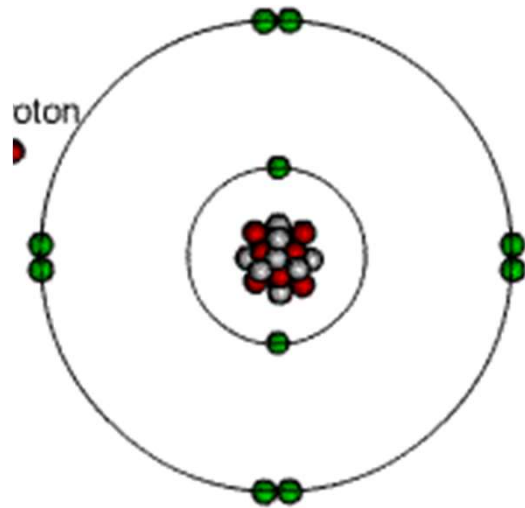
# TÉCNICAS ANALÍTICAS

## Interação de feixe de íons com a matéria - MeV



# Método PIXE

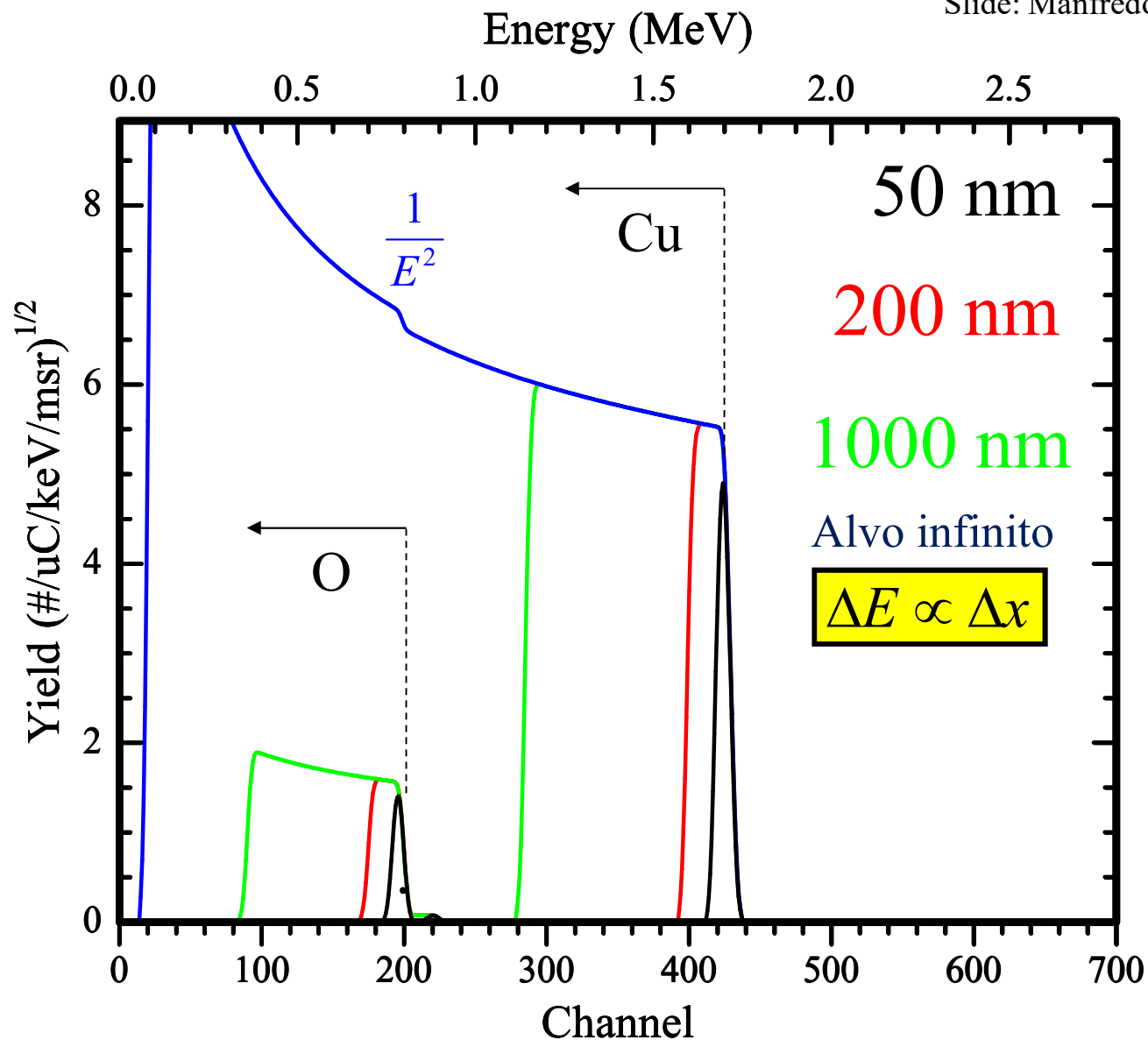
(Particle Induced X-ray Emission)



- Não Destrutivo
- Superficial:
  - 25,5  $\mu\text{m}$  em Bronze (prótons c/ 2,4MeV)
  - 100  $\mu\text{m}$  em Celulose (prótons c/ 2MeV)
- Alta Sensibilidade: ppm
- Rápido: 10-20 min
- Identificar e quantificar elementos com  $Z > 10$
- Alta resolução para elementos vizinhos
- Preciso: erro  $\sim 5\%$

# TÉCNICAS ANALÍTICAS -RBS

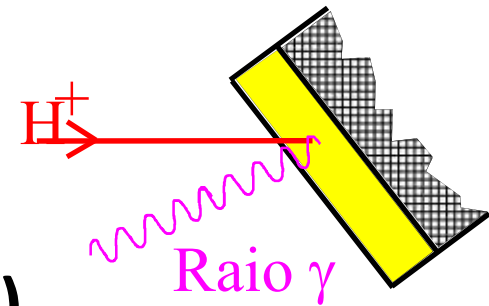
Slide: Manfredo H. Tabacniks



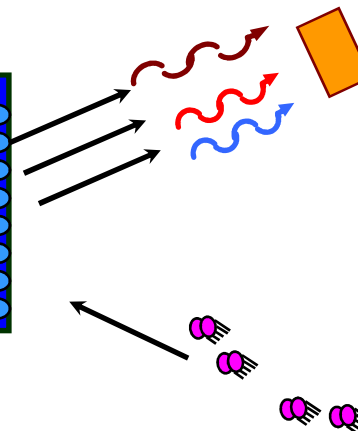
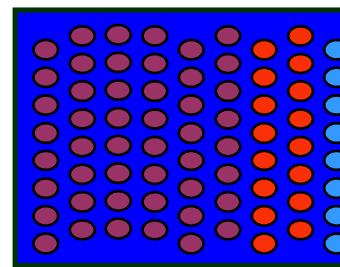
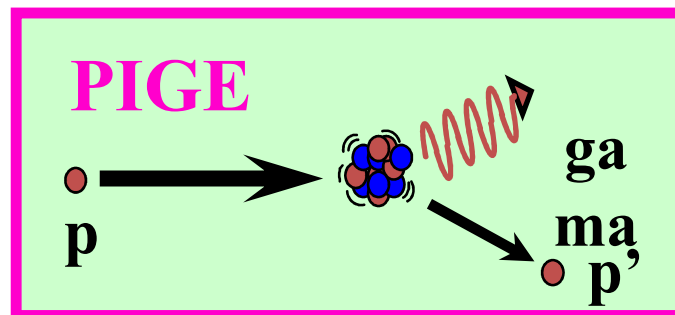
RBS – Dependência da espessura (CuO alvo)

# TÉCNICA ANALÍTICA PIGE

(Particle Induced  $\gamma$ -ray Emission)



Reações do tipo  $(p,\gamma)$ ,  $(p, p' \gamma)$  e  $(p,\alpha\gamma)$



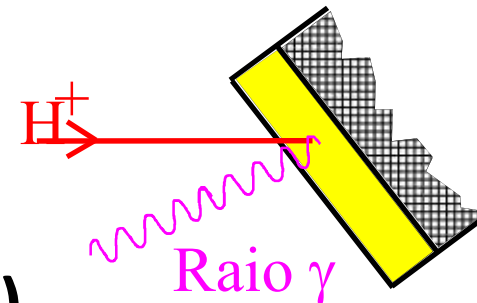
Detetor  
(HpGe, NaI)

Partícula

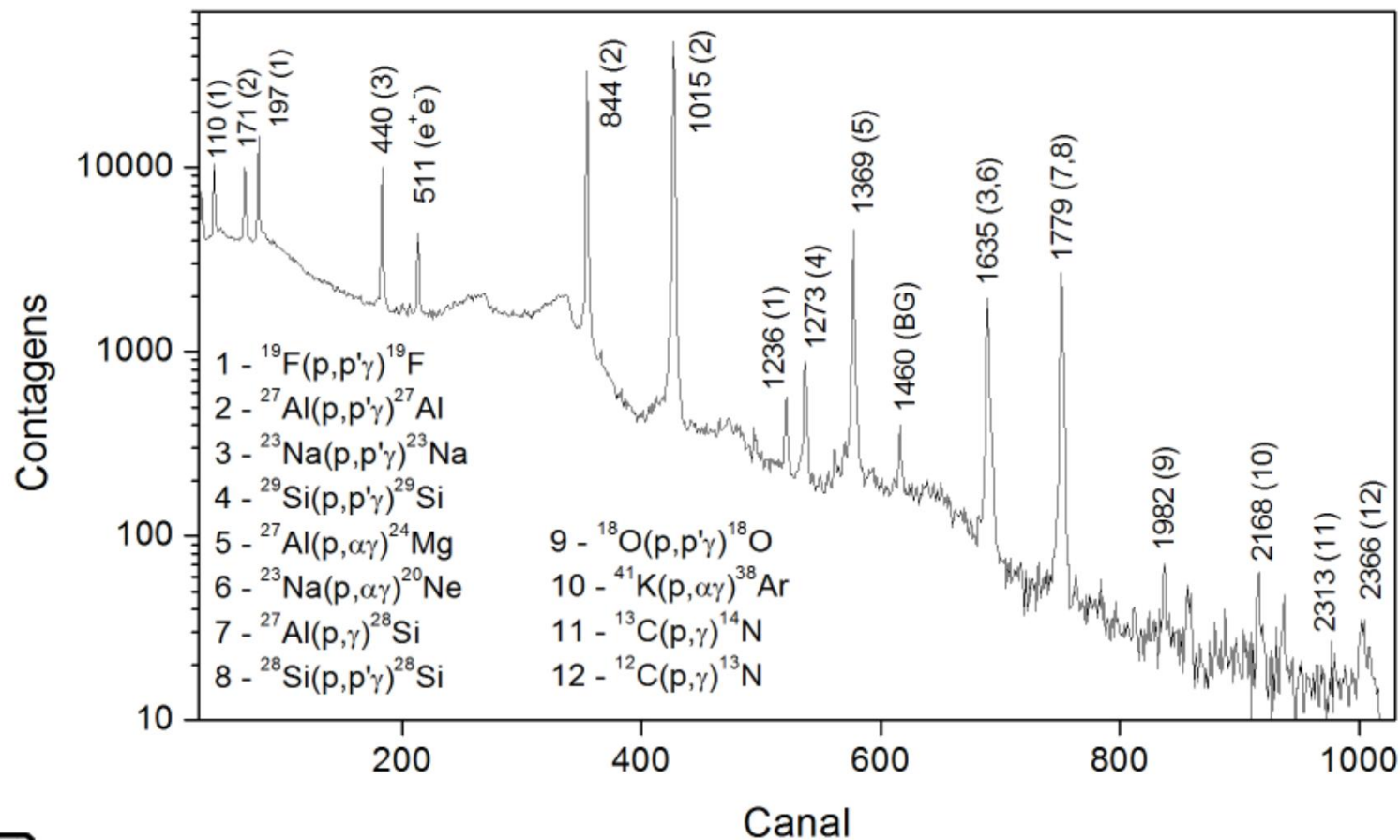
- Não Destrutivo
- Alta Sensibilidade: ppm
- Rápido: 10-20 min
- Identificar e quantificar elementos com  $Z < 10$
- Separação isotópica



# TÉCNICA ANALÍTICA PIGE (Particle Induced $\gamma$ -ray Emission)



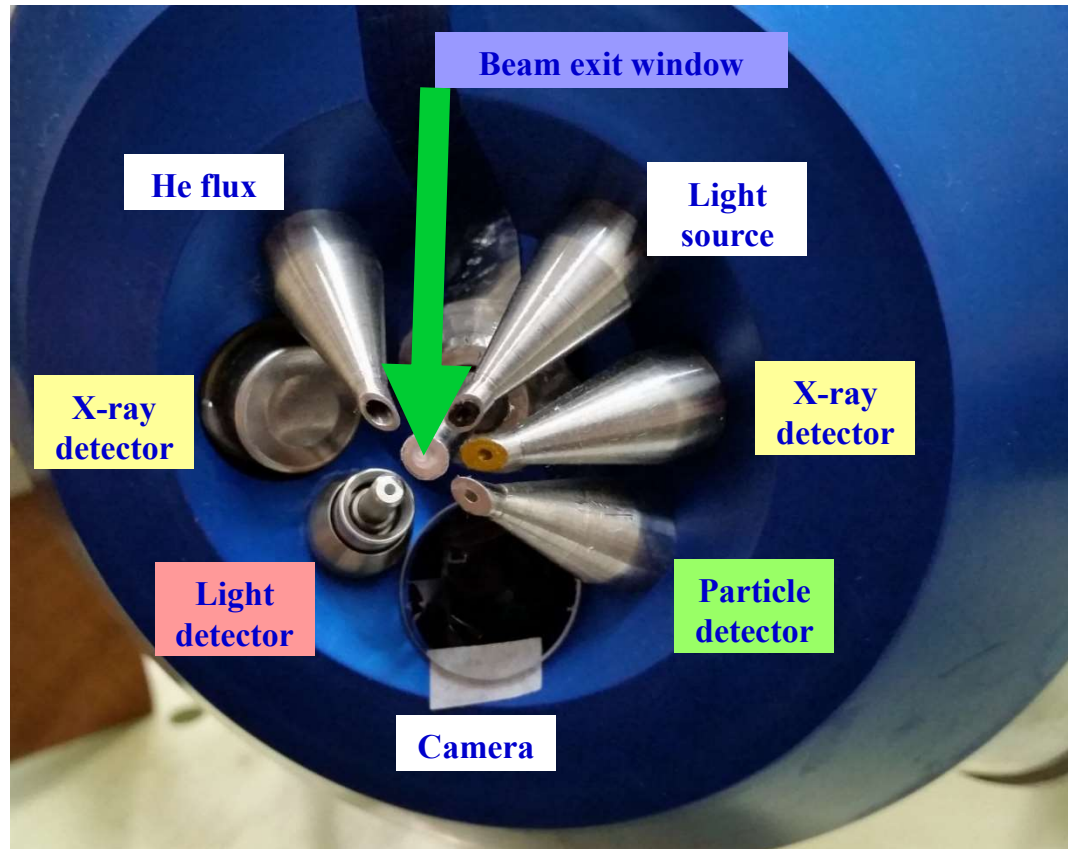
*Espectro PIGE de contagens por canal para uma irradiação de uma folha fina de mica com prótons de aproximadamente 3 MeV (Medeiros, 2008).*





# Arranjo experimental

## *Detalhes do feixe externo*



**Beam conditions:**  
6- $\mu\text{m}$  Al foil beam exit window  
Internal Beam energy: 2.60 MeV  
Beam energy on target: 2.38 MeV  
68% of beam energy lost on the foil  
Energy straggling:  $\sim 15\text{keV}$

**2 - X-ray detector**  
Amptek XR-100CR  
12.5- $\mu\text{m}$  Be window  
4.4-mm<sup>2</sup> x 500- $\mu\text{m}$  detection volume  
145-eV resolution @ Fe-ka

**Light spectrophotometer**  
Ocean Optics USB4000  
200-1100nm Optical range  
10-nm FWHM resolution  
3648 pixels/16 bits ADC  
1000- $\mu\text{m}$  apperture

**Particle detector**  
Camberra  
50-mm<sup>2</sup> active area  
100- $\mu\text{m}$  depletion depth  
12-keV resolution  
(7-mm air/12- $\mu\text{m}$  kapton foil)  
 $\sim 70\text{-keV}$  final resolution

*Dr. Tiago F. Silva - LAMFI*



# ARRANJO EXPERIMENTAL

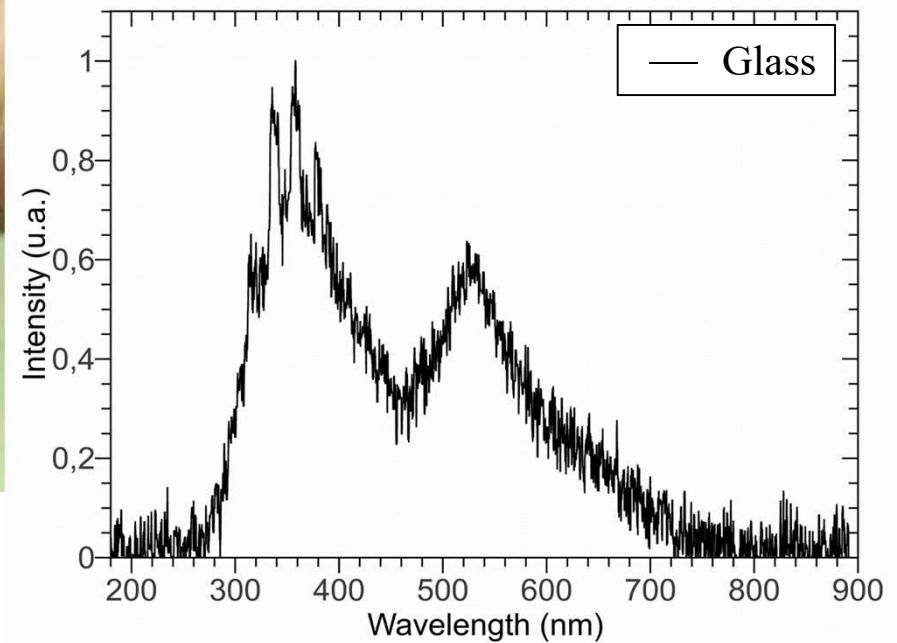


## *Light measurement at the external beam*

Ion Beam Luminescence – IBIL



**Photo-spectrometer**  
**200nm up to 900nm range**

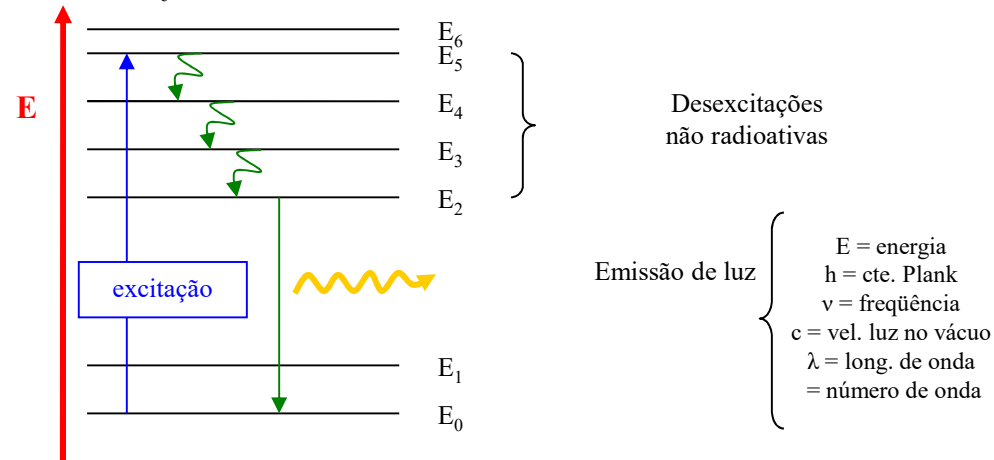
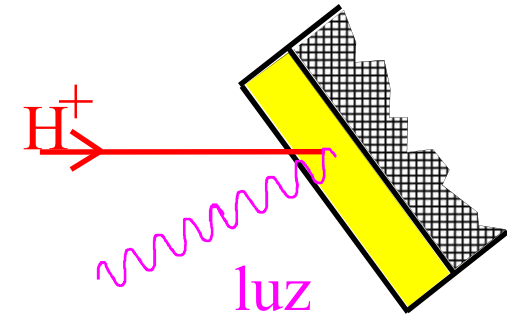


# Método IOL

(Ion Luminescence = Luminescência com Ions)

## Produção de luz

- Ionização dos átomos da amostra devido a energia depositada na irradiação
  - Recombinação dos elétrons e átomos ionizados.
  - Desexcitação e emissão de luz



A luminescência pode ser causada pelo próprio material da amostra (intrínseco) ou por impurezas presentes (extrínseco)



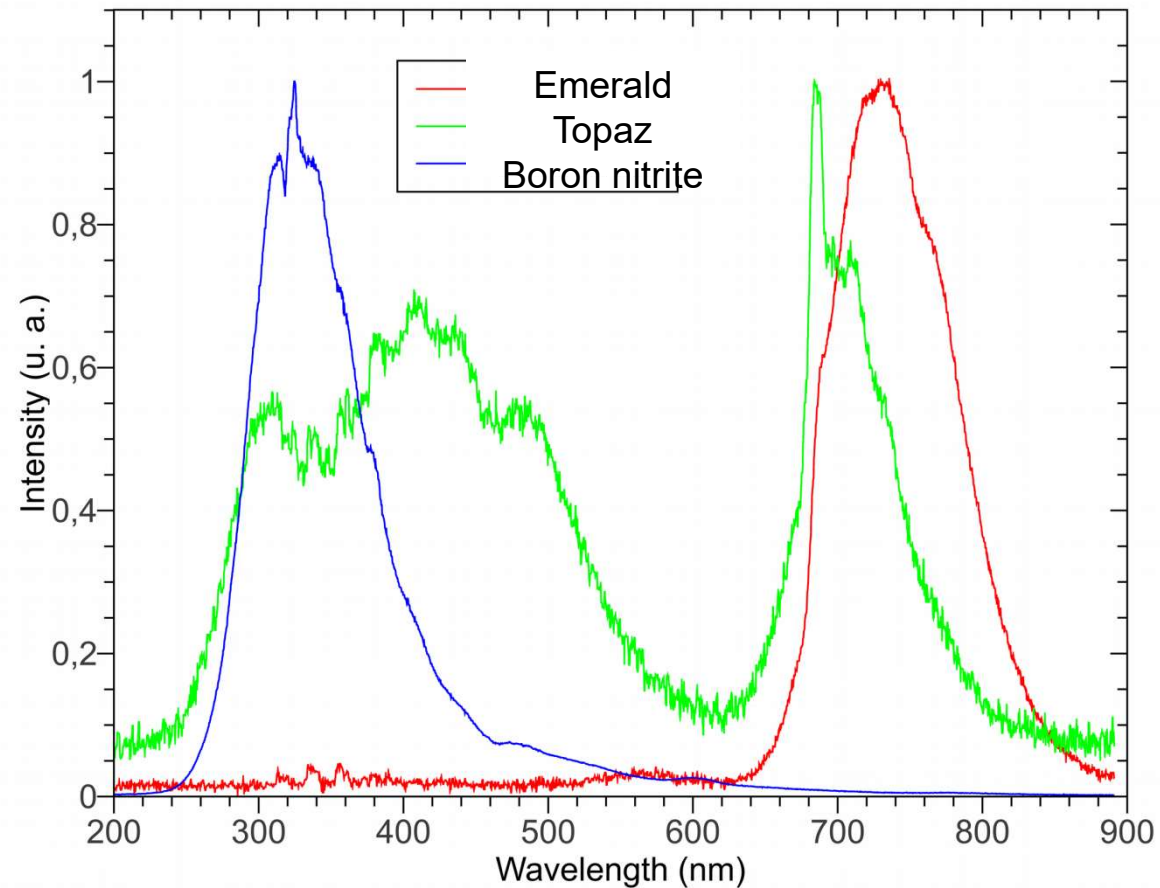
# Setup



*What kind of studies can be done?*

## Ion Beam Luminescence – IBIL

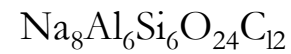
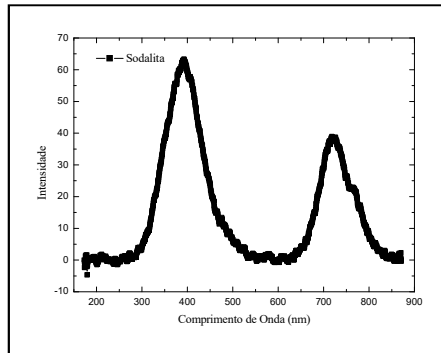
Photo-spectrometer installed in one port.



# Método IOL

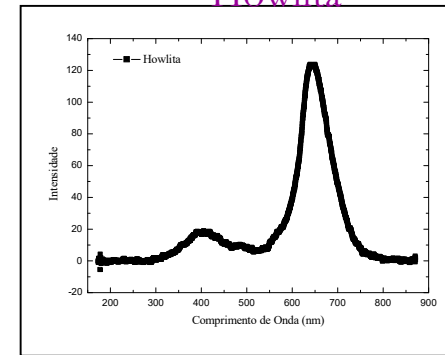
(Medidas no UNAM – Jessica F. Curado)

Sodalita

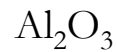
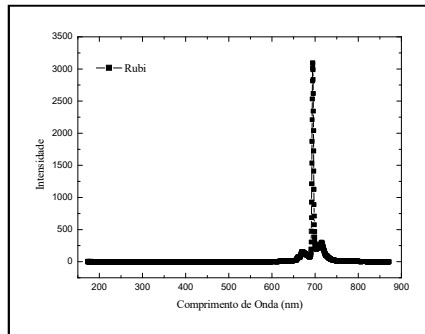


Mn, Zn

Howlita

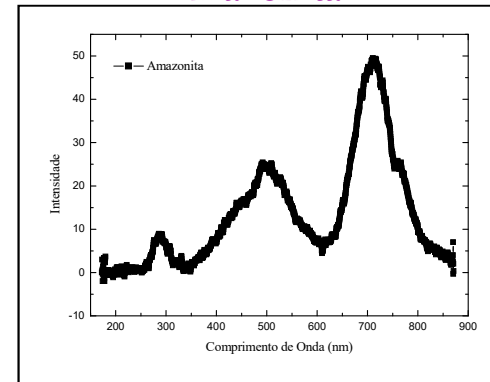


Rubi

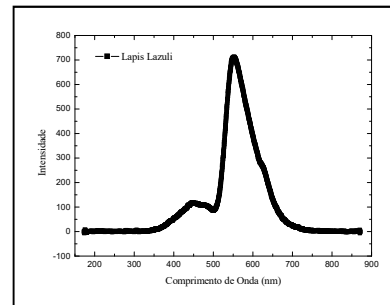


Cr

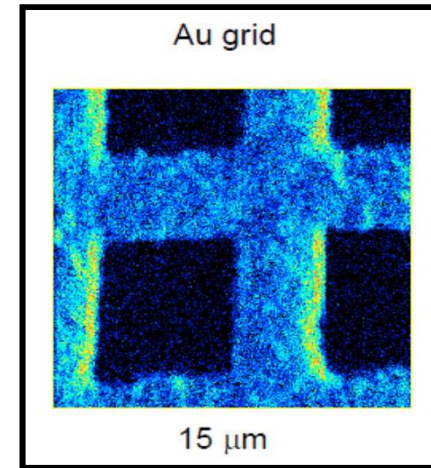
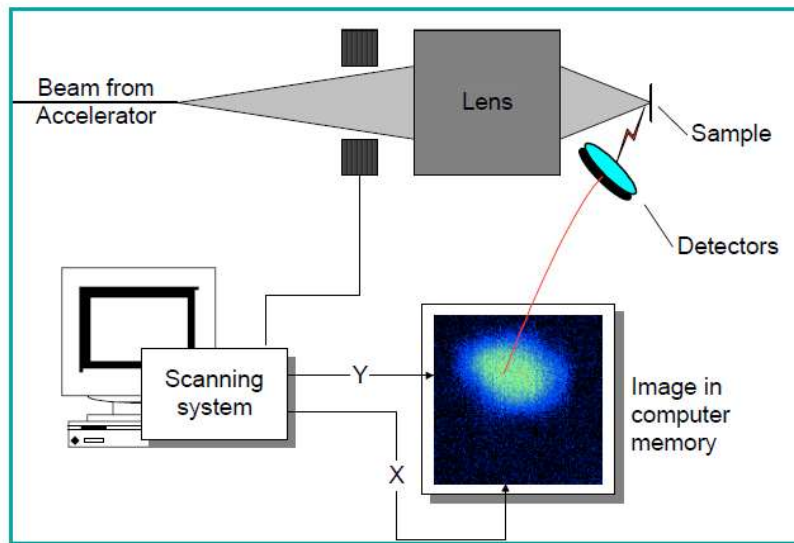
Amazonita



Lápis-Lazúli

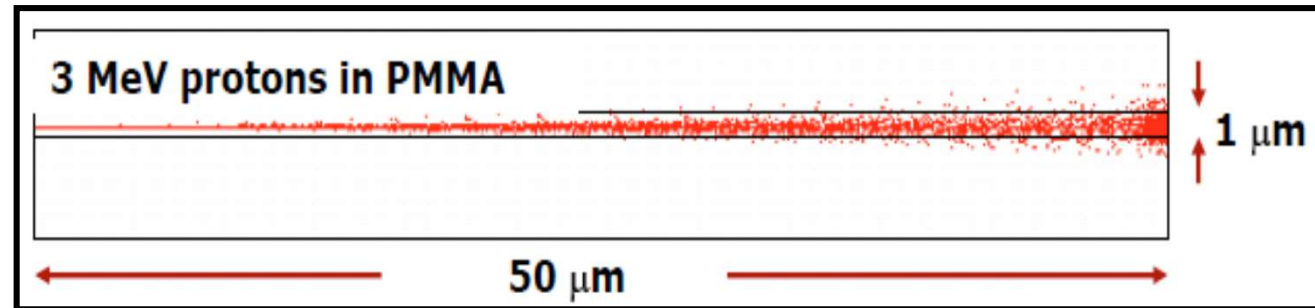
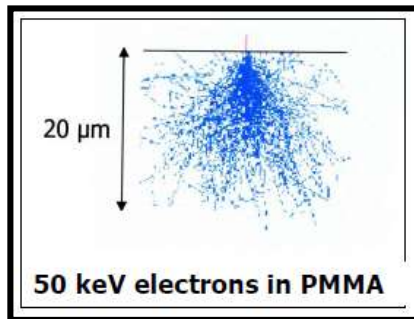


# Micro e nano feixes



F. Watt et al., NIM B210, 2003, pp 14-20

## Proton beam writing - Ion Beam Lithography



PMMA - polimetil metacrilato

# Micro e nano feixes

Comparado com elétrons, o maior poder de penetração de feixes iônicos e sua menor dispersão permite análises com maior resolução espacial.

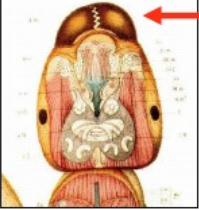
Feixes MeV ~ 100 nm

Feixes de íon único! ~10 nm

Feixes keV ~10 nm

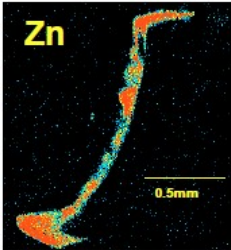

UFRGS (2007) está instalando um microfeixe...

microanálise elementar de uma pupa de formiga

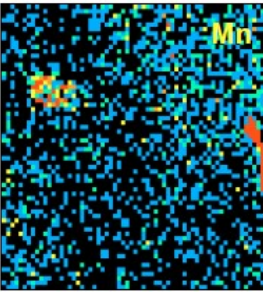
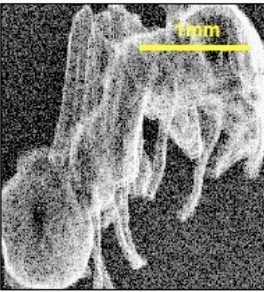


- **Mandibles** of leaf cutting ants are hardened by the presence of high levels of zinc in the chitin matrix.
- Can we understand this process and exploit it to develop **new materials**?
- Zinc incorporation takes place during pupation. Can we use the long penetration of MeV protons to identify the sites of Zn storage and observe the mobilisation of zinc?

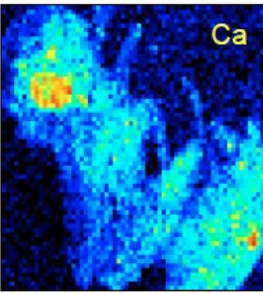
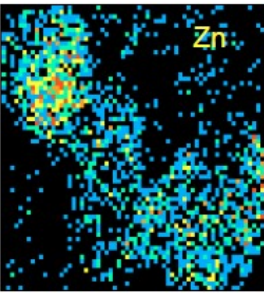
*left:* Secondary electron image of mature mandible.  
*right:* simultaneous PIXE image of zinc distribution



Side view of whole pupa shows a feature in the abdomen rich in Mn, Zn, Ca.



Is this the site of metal storage? But how and when does the Zn go into the mandibles?



Note that this analysis was carried out with no sectioning or other preparation other than freeze drying.





# Innovations



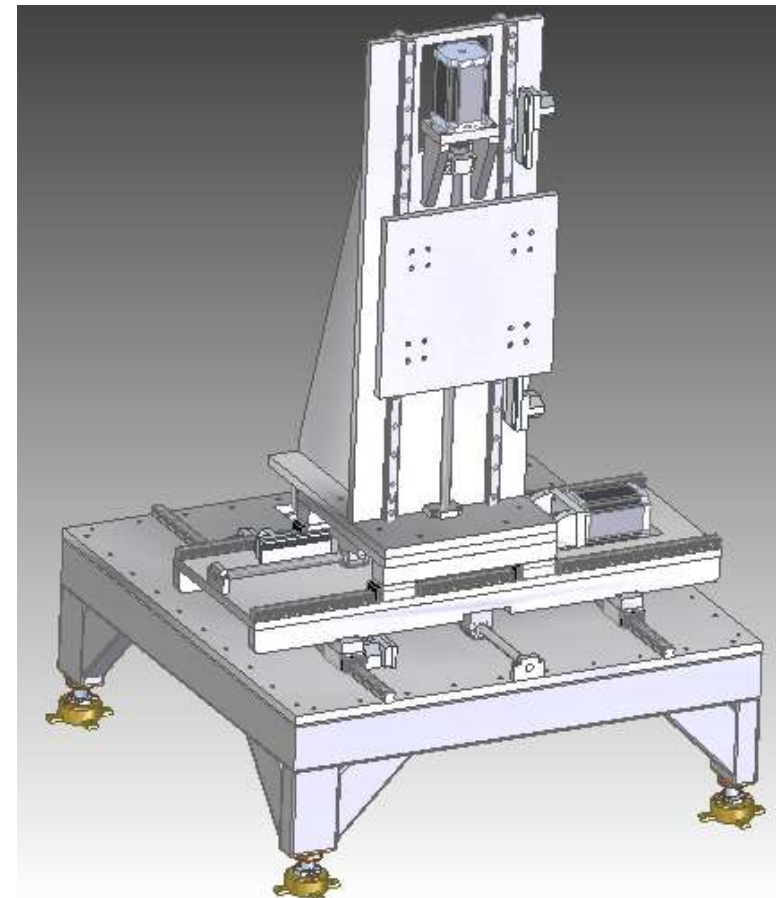
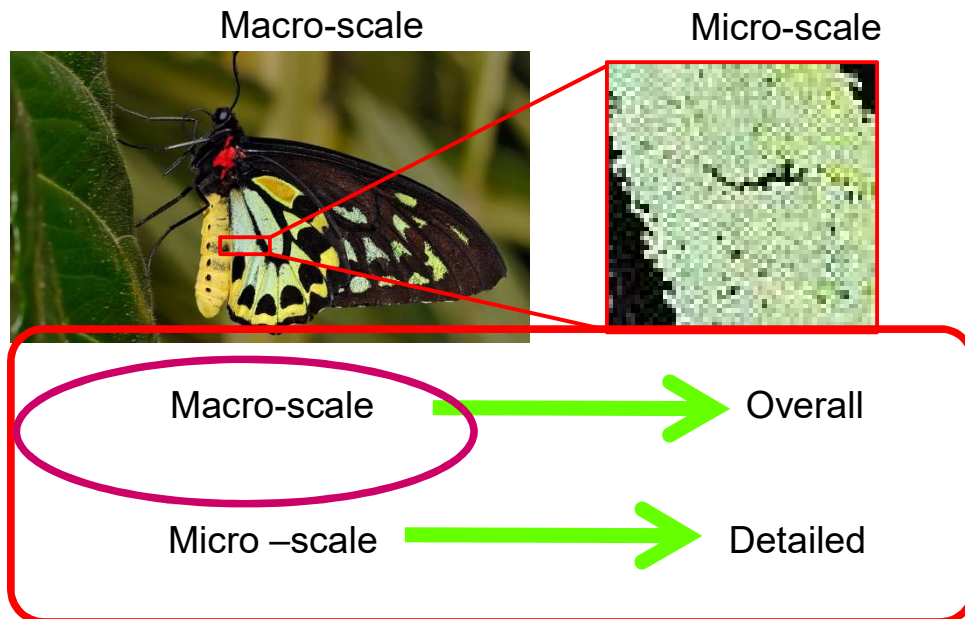
## *The scanning machine*

Beam scans the sample” or  
“The sample scans the beam



Mapping of the chemical  
distribution millimeter scale

Broad beam (millimeter) it is easier to move the sample



**Project considerations:**

**Precise positioning**

**Large area/ samples**

**Distance window-sample adjustable**

**Indexing the position (Several scanning)**

*Dr. Tiago F. Silva*

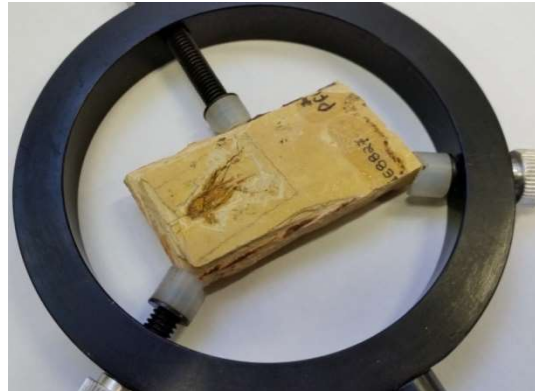
*And the technical team of LAMFI*



# Innovations

## Mapping elemental distribution in the millimeter scale

External beam sistema + XYZ robotic



*Paleontological studies – Fossil maps*

**Investigation : the action of micro-organisms in fossil preservation**

**Fossil in Calcite found in bottom of a lake**

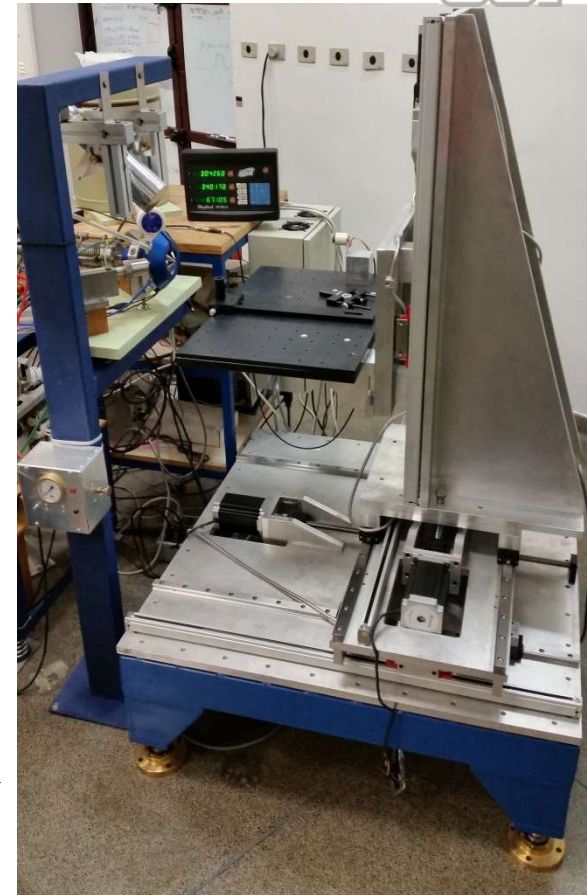
**Low concentration of oxygen and high concentration of minerals**

**Collaboration with Paleontology Group - University of São Paulo**

Gabriel Osés, Prof. Setembrino Petri, Profa. Mírian Liza Alves Forancelli Pacheco – IGC USP



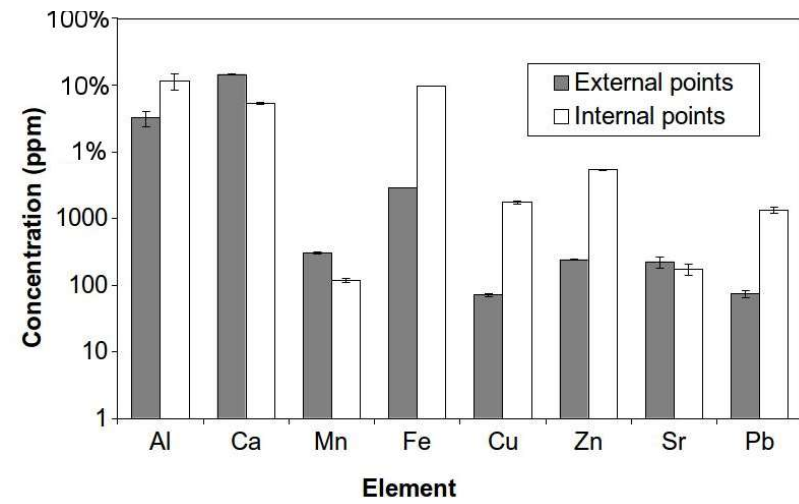
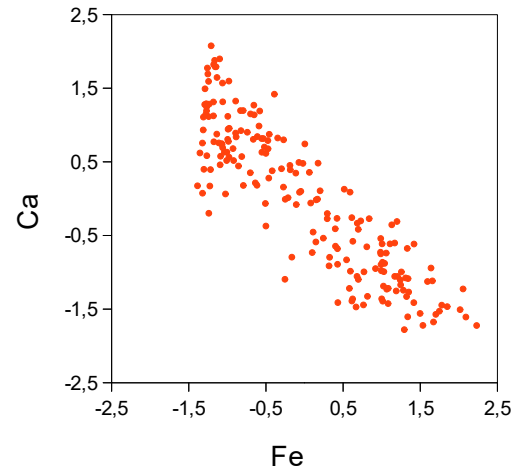
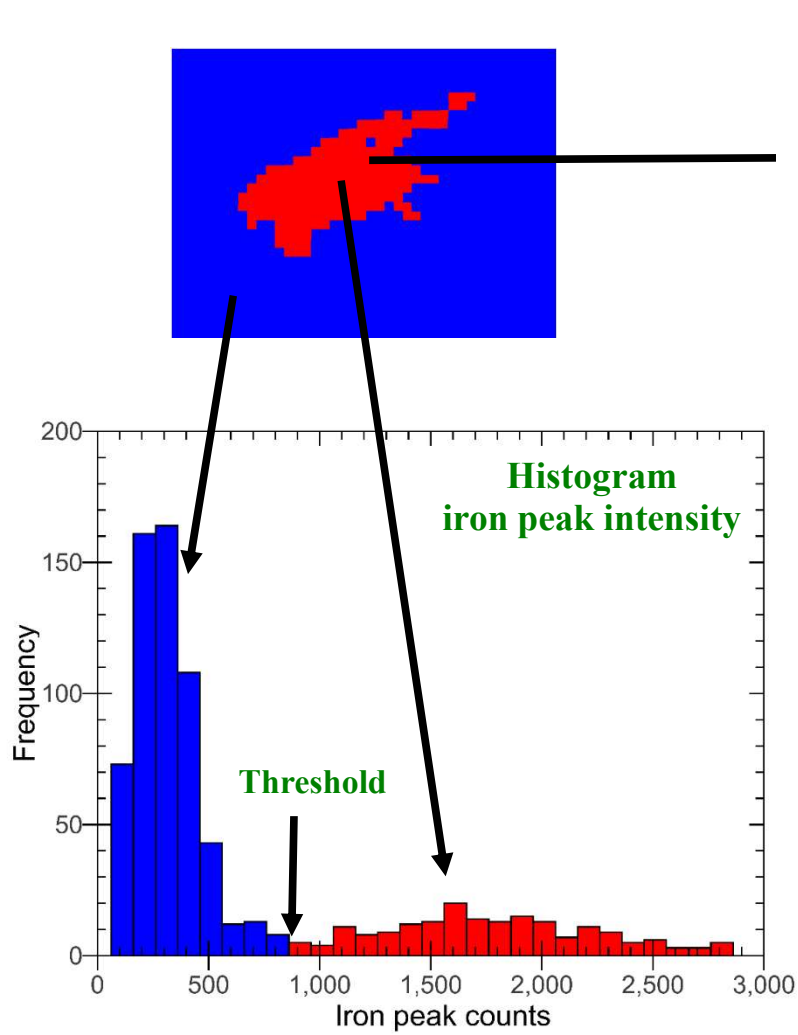
USP



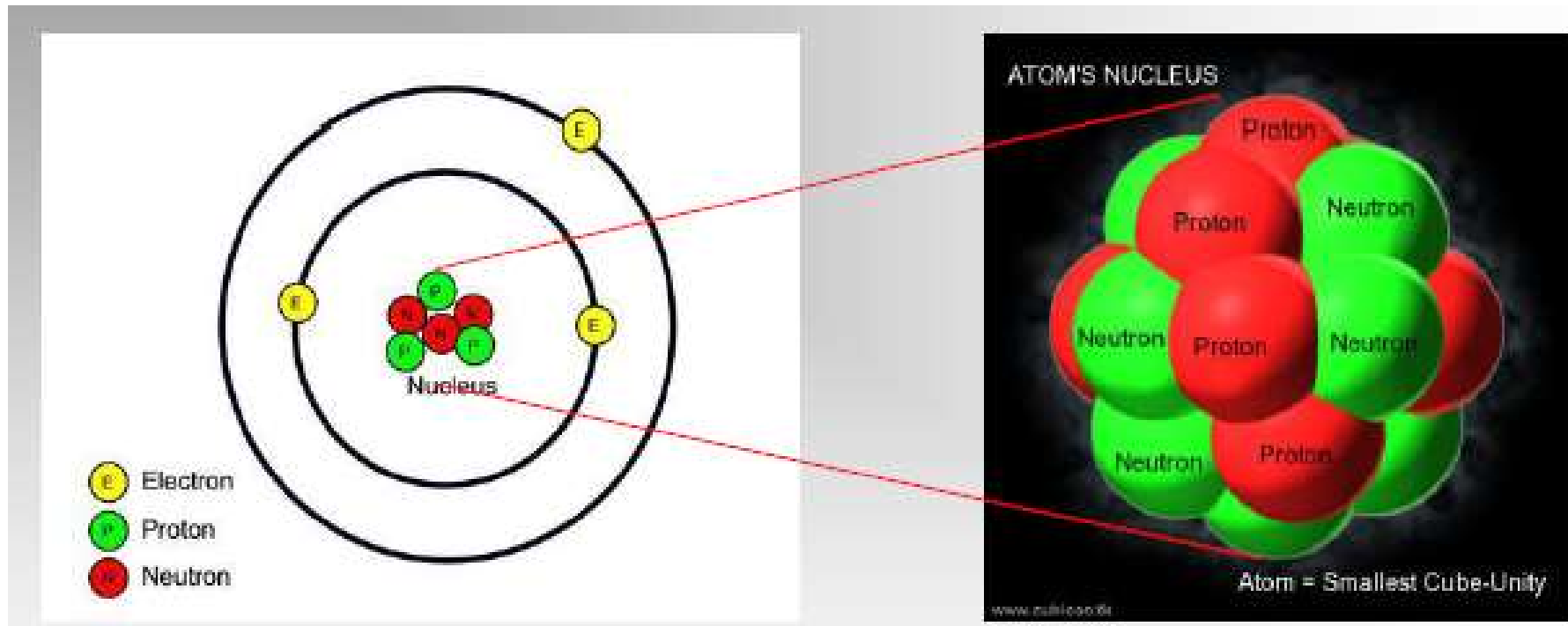


# Innovations

*Paleontological studies – Fossil maps*

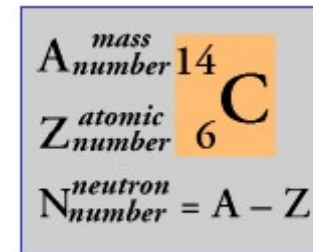
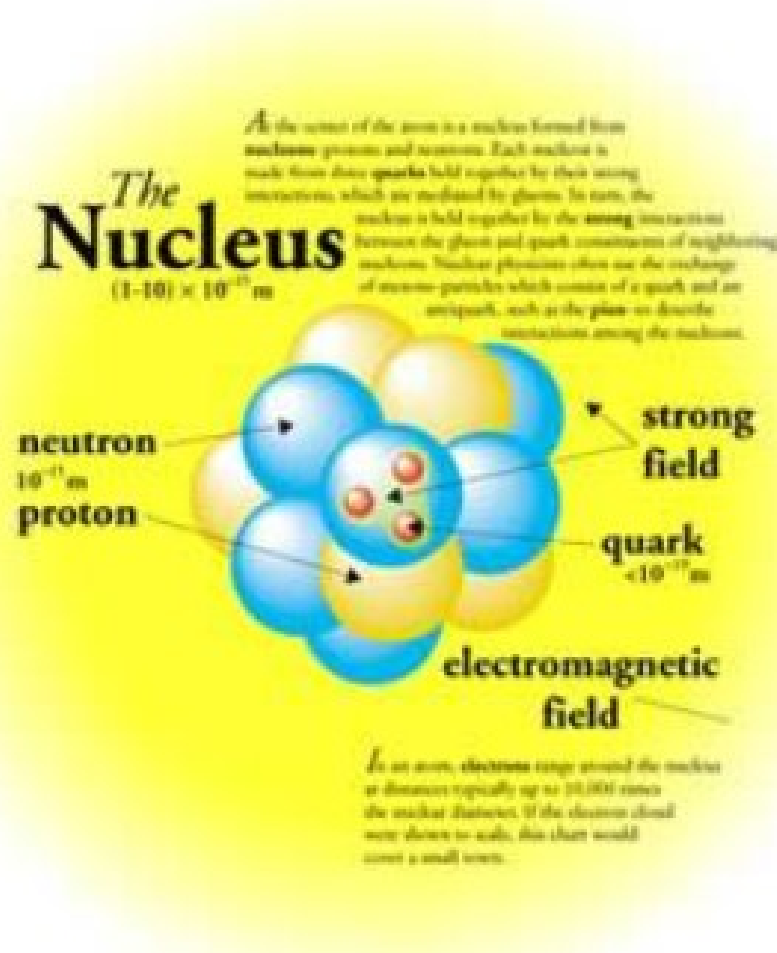


# Do átomo para o núcleo



**Os processos nucleares estão presentes em nossa vida todos os momentos. Nestes processos são geradas radiações devido a processos de modificações dos prótons e nêutrons, por emissão de partículas ou por de-excitação nuclear**

# Princípios básicos de física nuclear

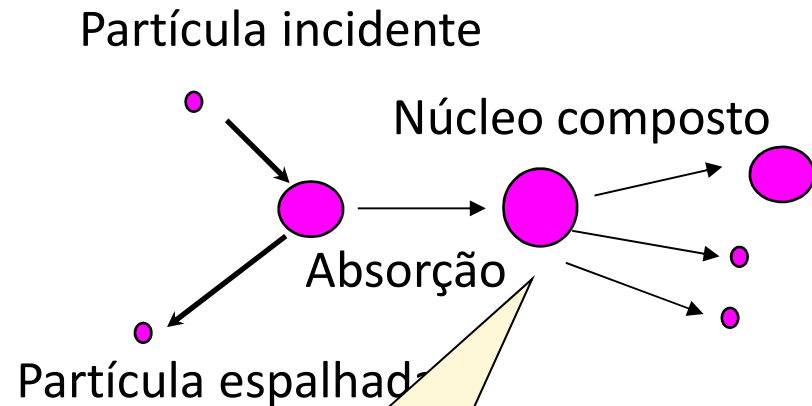


**Núcleo consiste de:**  
**Z prótons com carga e+**  
**N neutros sem carga**  
**A número de massa A=Z+N**  
**Prótons e nêutrons estão ligados**  
**por uma força forte**  
**R=10<sup>-13</sup>m**

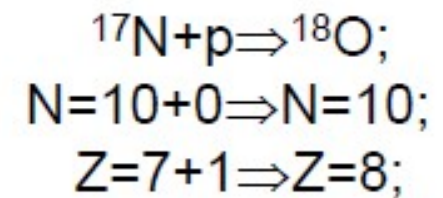
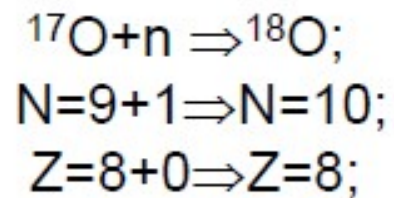
# Do átomo para o núcleo

## Reações Nucleares

**Em uma reação nuclear dois núcleos se combinam formando um terceiro núcleo**



Formação de um núcleo composto e depois o seu decaimento

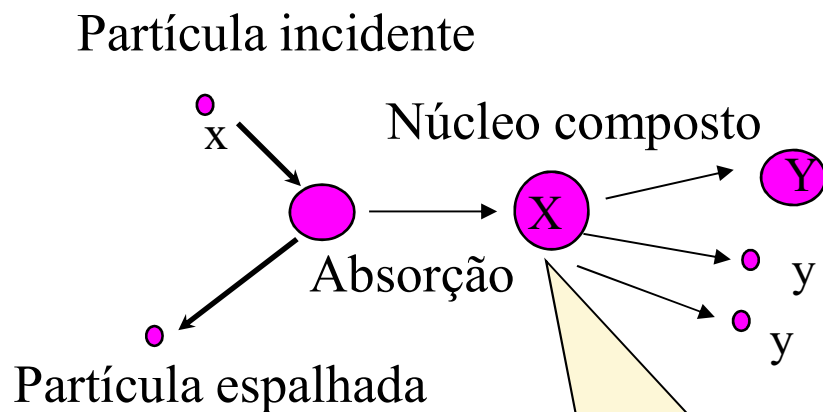


# Reações Nucleares

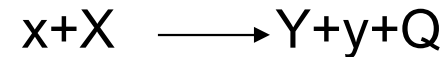
(nos fornecem informações adicionais sobre os estados excitados dos núcleos)

em um choque entre uma partícula com um núcleo vários fenômenos podem ocorrer:

- 1) Partículas podem ser espalhadas elasticamente ou inelasticamente (no caso inelástico a núcleo é promovido para um estado excitado que decai para o estado fundamental com emissão de fótons ou partículas)
- 2) A partícula original pode ser absorvida e outra(s) partícula(s) pode(m) ser emitida(s).



Conservação de Energia:



Q é a energia liberada na reação:

$$Q = (m_x + m_X - m_y - m_Y)c^2$$

Q>0 reação nuclear libera energia

reação exotérmica

Q<0 reação endotérmica

Formação de um núcleo composto e depois o seu decaimento

## Reações Nucleares

Rutherford (1919) foi o primeiro a produzir uma reação nuclear em um experimento de laboratório.

Usou partículas alfas de 7,7MeV de energia (que eram produzidas devido o decaimento do  $^{214}\text{Po}$ ) para bombardear um alvo de nitrogênio



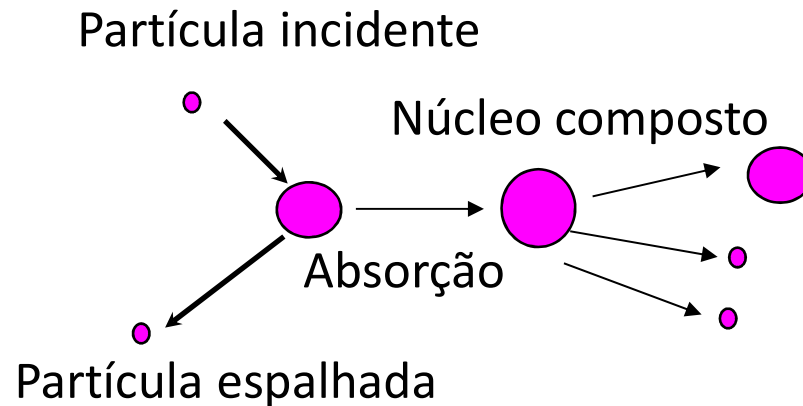
O estudo das reações nucleares ajudou consideravelmente em três importantes avanços tecnológicos em desenvolvimento de aceleradores:

- 1) Circuitos multiplicativos de alta voltagem em 1932  
Cockcroft e Walton (premio Nobel em 1951)
- 2) Primeiro gerador eletrostático (acelerador Van der Graaff) (1931 – por R. Van de Graaff)
- 3) primeiro cíclotron construído em 1932 por Lawrence em Berkeley (1939 recebe premio Nobel)

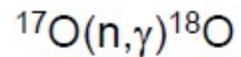


# Do átomo para o núcleo

## Reações Nucleares



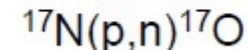
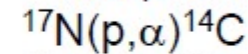
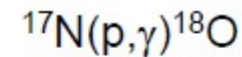
**O decaimento do núcleo composto é por emissão de partículas ou radiação (gama) até o estado fundamental ou se quebra emitindo partículas leves (alfas) e resultando em um outro núcleo**



capture reaction

transfer reaction

charge exchange

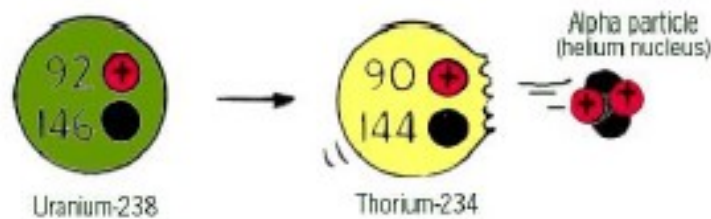


# Do átomo para o núcleo

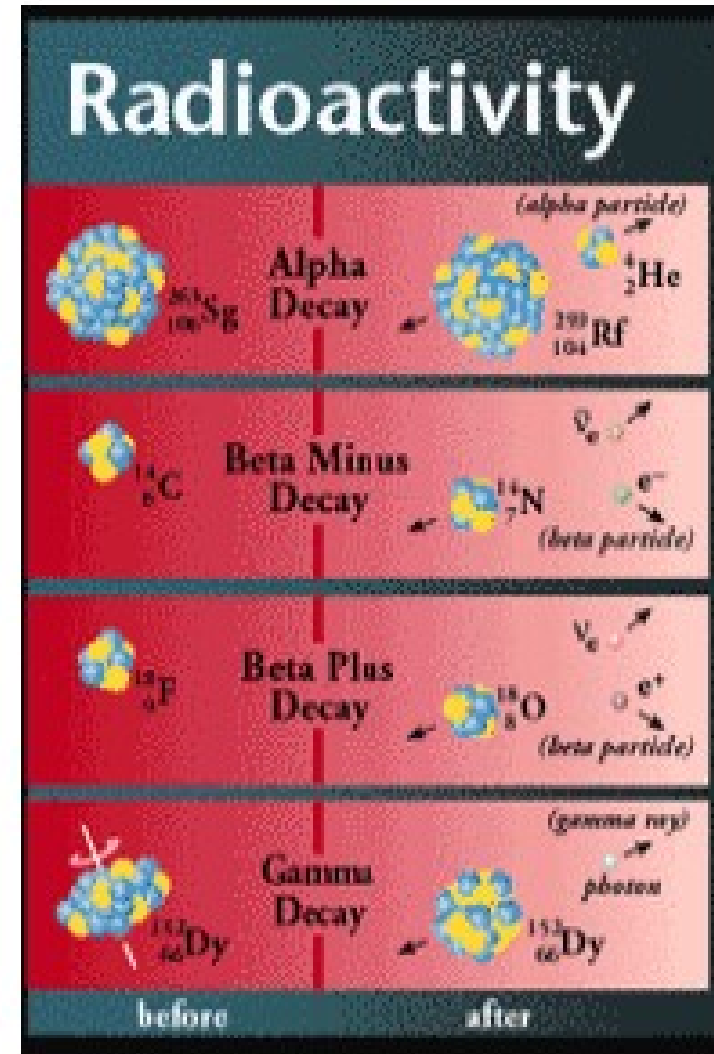
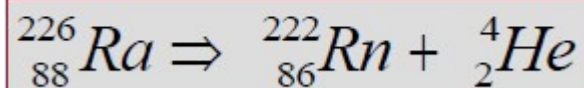
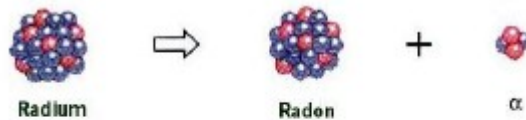
## Decaimento Nuclear

O decaimento do núcleo composto pode ocorrer por vários processos: por emissão de partículas ou radiação (gama) até o estado fundamental

### Decaimento alfa



Alpha particle  $\alpha = {}^4_2\text{He}$

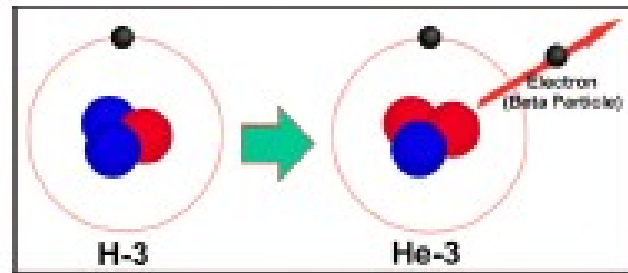


**Radioactivity**

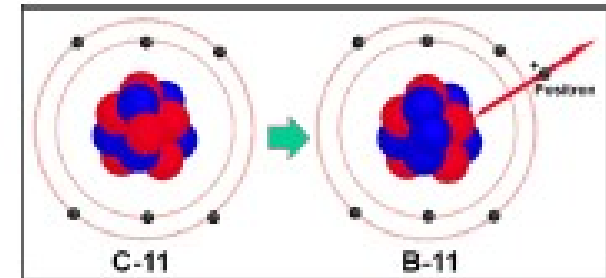
- Alpha Decay:**  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$  (alpha particle)
- Beta Minus Decay:**  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$  (beta particle)
- Beta Plus Decay:**  ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + e^+ + \nu_e$  (beta particle)
- Gamma Decay:**  ${}^{152}_{66}\text{Dy} \rightarrow {}^{152}_{66}\text{Dy} + \gamma$  (gamma ray photon)

before after

# Decaimento beta ( $\beta$ )



Núcleo decai espontaneamente por emissão de um elétron + antineutrino ou pósitron + neutrino



Para entender este decaimento precisamos definir as seguintes transformações:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \quad n = \text{nêutron}; p = \text{próton}; e^- = \text{elétron};$$

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \quad \bar{\nu} = \text{antineutrino}; e^+ = \text{pósitron}; \nu = \text{neutrino}.$$

**Neutrino/antineutrino:** partícula sem carga e quase sem massa, de tal modo que sua interação com a matéria é muito pequena, tendo um alto grau de penetração, por isto sua detecção é muito difícil.

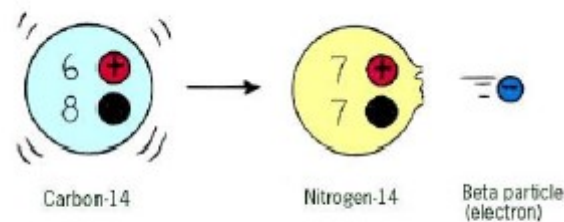
**IMPORTANTE:**  $e^-$  ou  $e^+$  emitidos no decaimento  $\beta$  não existem no interior do núcleo, mas são criados no processo de desintegração, assim como os fótons são criados no processo de emissão!

# Do átomo para o núcleo

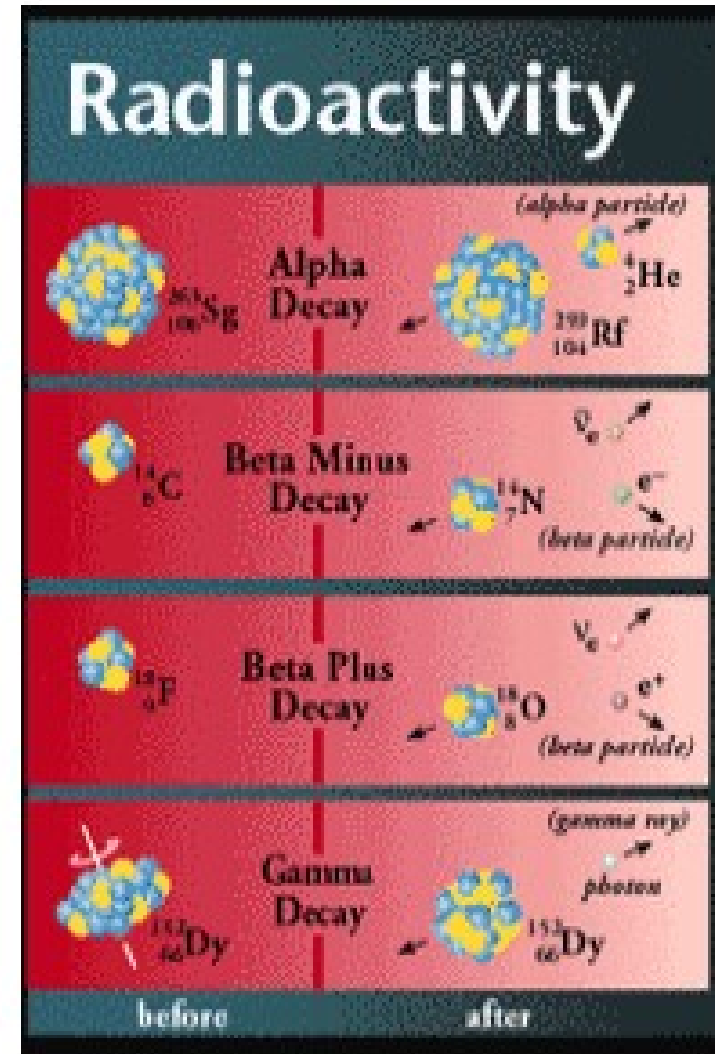
## Decaimento Nuclear

O decaimento do núcleo composto pode ocorrer por vários processos: por emissão de partículas ou radiação (gama) até o estado fundamental

### Decaimento beta



O decaimento beta ( $\beta$ ) é a emissão de um elétron ( $e^-$ ) ou um pósitron ( $e^+$ ) para converter nêutron em próton ou próton em nêutron dentro do núcleo

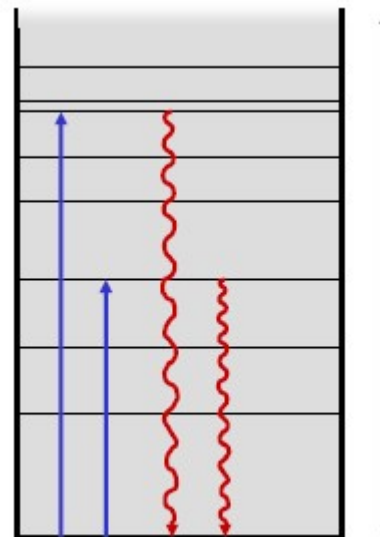
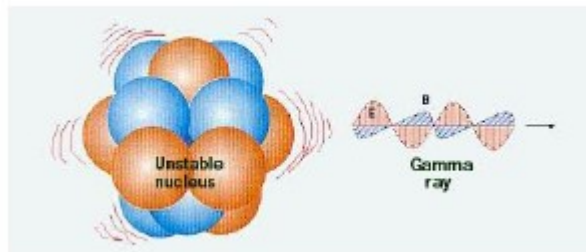


# Do átomo para o núcleo

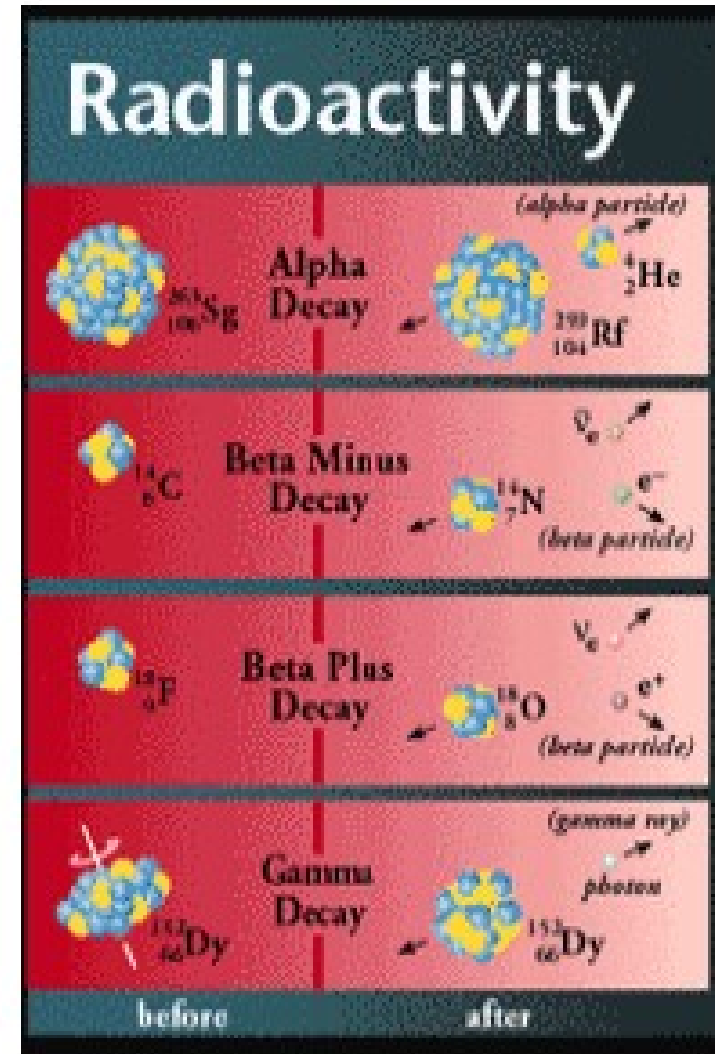
## Decaimento Nuclear

O decaimento do núcleo composto pode ocorrer por vários processos: por emissão de partículas ou radiação (gama) até o estado fundamental

### Decaimento gama



O decaimento gama ( $\gamma$ ) é a emissão de radiação indo o núcleo do estado excitado para o estado fundamental



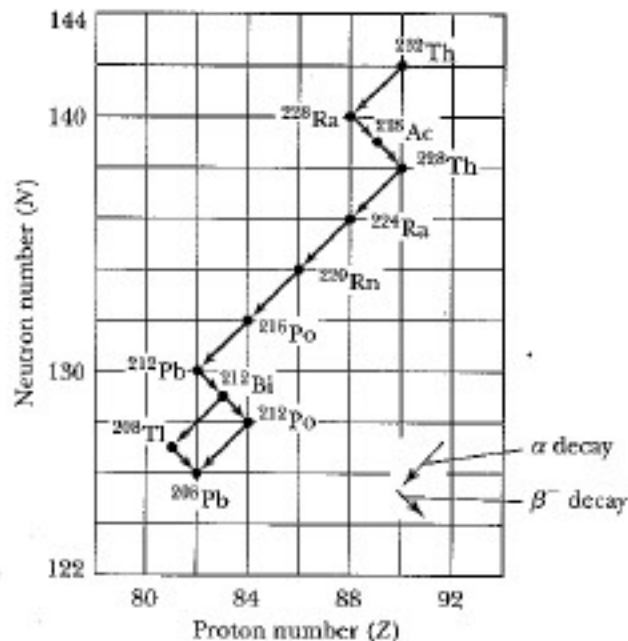
## Resumidamente

Decaimento  $\alpha$        $Q = E = [M({}_Z^A X) - M({}_{Z-2}^{A-4} D) - M({}_2^4 He)]c^2$

Decaimento  $\beta^-$ : emissão  $\beta^-$   
nêutron se transforma em um próton       $Q = E = M({}_Z^A X)c^2 - M({}_{Z+1}^A D)c^2$

Decaimento  $\beta^+$ : emissão  $\beta^+$   
próton se transforma em um nêutron       $Q = E = M({}_Z^A X)c^2 - M({}_{Z-1}^A D)c^2 - 2m_e c^2$

Decaimento  $\beta^-$ : captura eletrônica       $Q = E = [M({}_Z^A X) - M({}_{Z-1}^A D)]c^2$   
próton no interior do núcleo absorve um elétron produzindo um nêutron



o número de massa só pode ser mudado por decaimento  $\alpha$ , mas ambos decaimentos  $\alpha$  e  $\beta$  podem mudar o número atômico  $Z$ .

# Lei de decaimento

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$$

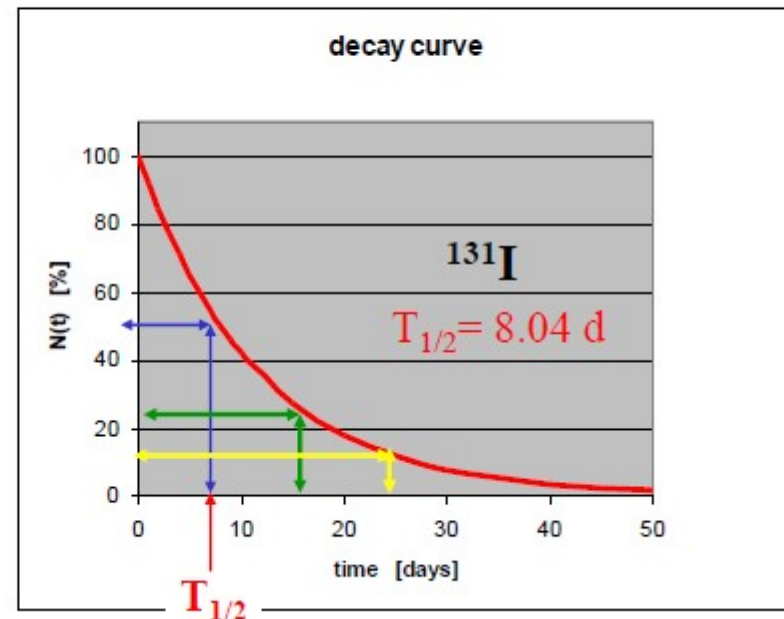
$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$$

$$N(t) = N(t_0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$\lambda$ : decay constant

time (days)	<sup>131</sup> I (%)
0	100.0000
1	91.7411
2	84.1642
3	77.2132
4	70.8362
5	64.9859
6	59.6188
7	54.6949
8	50.1777
9	46.0335
10	42.2317
15	27.4446
20	17.8351
25	11.5903
30	7.5321
40	3.1809
50	1.3434
60	0.5673
70	0.2396
80	0.1012
90	0.0427
100	0.0180

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$



# Lei de decaimento

$$N(T_{1/2}) = \frac{1}{2} N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda \cdot T_{1/2}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

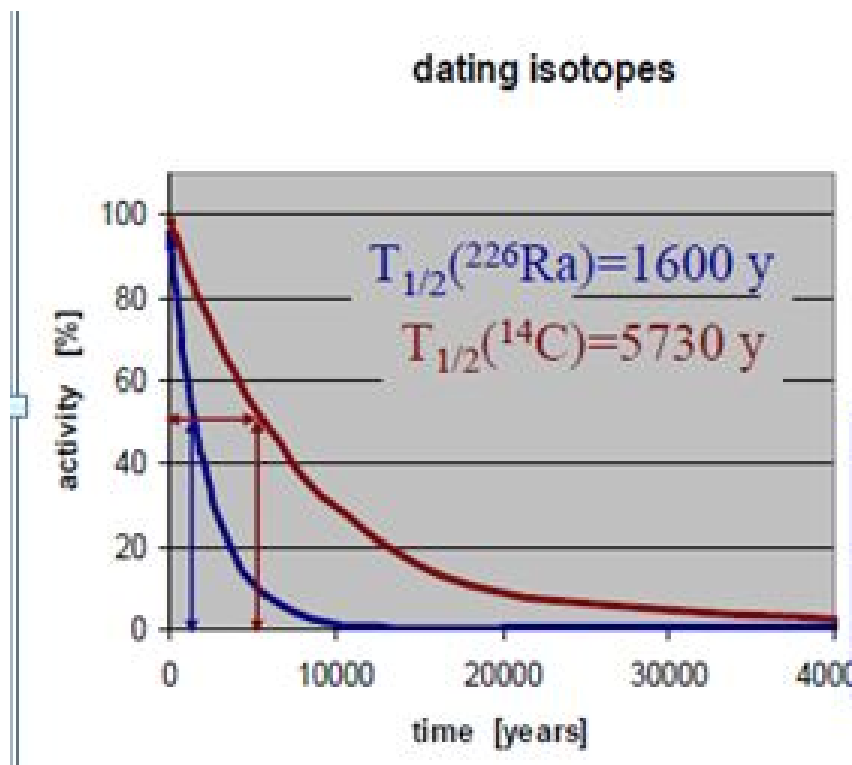
**A constante de decaimento  $\lambda$  é inversamente proporcional ao tempo de meia vida ( $T_{1/2}$ )**

**A meia vida de uma substância radioativa determina uma escala de tempo → relógio**



# Relógios radioativos

## Exemplo



Se sua amostra possui 22920 anos (corresponde a 4 vidas medidas do  ${}^{14}\text{C}$ ). Originalmente haviam 1000 isótopos de  ${}^{14}\text{C}$ , quantos isótopos temos hoje?

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N(t) = 1000 e^{-\lambda 22920}$$

$$N(t) = 1000 e^{-2,773}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{5730} = 0,000121 \left(\frac{1}{\text{ano}}\right)$$

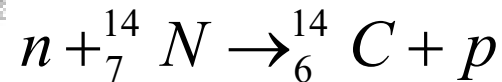
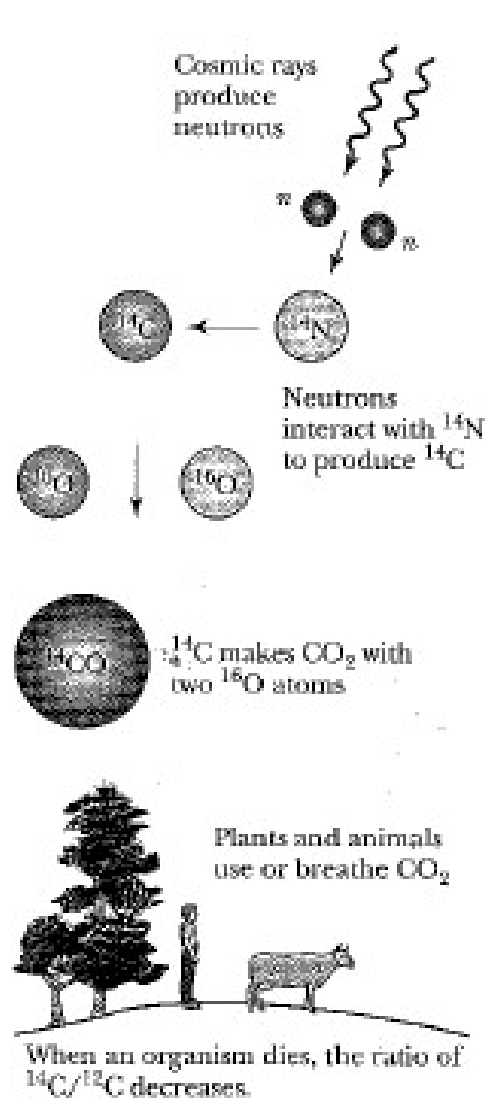
$$N(t) = 1000 * 0,0625$$

$$\lambda t = 0,000121 * 22920 = 2,773$$

$$N(t) = 62,5$$

## Datação com Carbono

O  $^{14}\text{C}$  radioativo é produzido em nossa atmosfera pelo bombardeamento do  $^{14}\text{N}$  por nêutrons produzidos por raios cósmicos:



Um equilíbrio natural de  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  existe nas moléculas de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. No entanto quando um organismo vivo morre sua absorção de  $^{14}\text{C}$  cessa, então a razão  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  diminui o  $^{14}\text{C}$  tem meia vida de 5730 anos e é conveniente utilizar esta razão para determinar a idade dos objetos.

Recentemente esta se utilizando aceleradores de partículas (para acelerar os íons de C) para datar amostras com pequenas quantidades  $\sim 10^5$  de átomos ( $\sim 10^{-20}$  kg) que antes necessitavam de amostras com massa superiores a 0,01kg. Willard Libby (1960) recebe o premio Nobel por este engenhosa técnica.