

# Conceitos básicos sobre radiação

livro: cap. I do livro da Okuno

# FÍSICA PARA CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E BIOMÉDICAS



**Emico Okuno  
Iberê L. Caldas  
Cecil Chow**



# Radiações

- Radiação corpuscular
- Radiação eletromagnética
- Teoria dos quanta
- Dualidade partícula onda
- Aplicação: Microscópio eletrônico
- Propriedades da radiação
- Radiações na natureza

# Radiação corpuscular

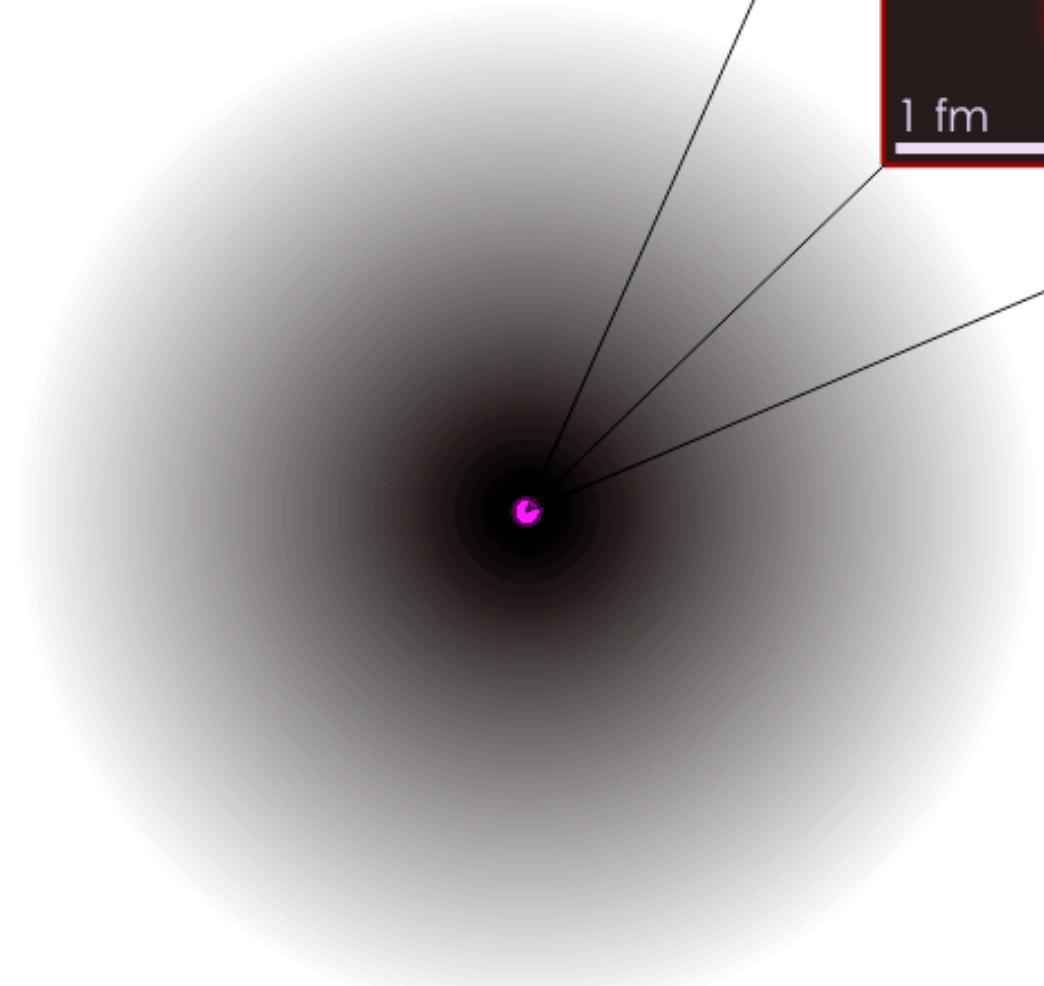
- Matéria: feixe de partículas elementares ou núcleos atômicos
- Elétrons, prótons, partículas  $\alpha$ , nêutrons, neutrinos, etc...
- Energia cinética  $K = \frac{1}{2}mv^2$

# Radiação eletromagnética

- Campo elétrico e magnético oscilante no tempo e espaço
- Velocidade de propagação:  $c = 3 \times 10^8$  m/s
- Raios X, raios gama, luz, infravermelho, micro-ondas, ondas de rádio e TV
- comprimento de onda  $\lambda$  e frequência  $f$
- No caso geral de ondas:  $v = \lambda f$

# Radiação eletromagnética

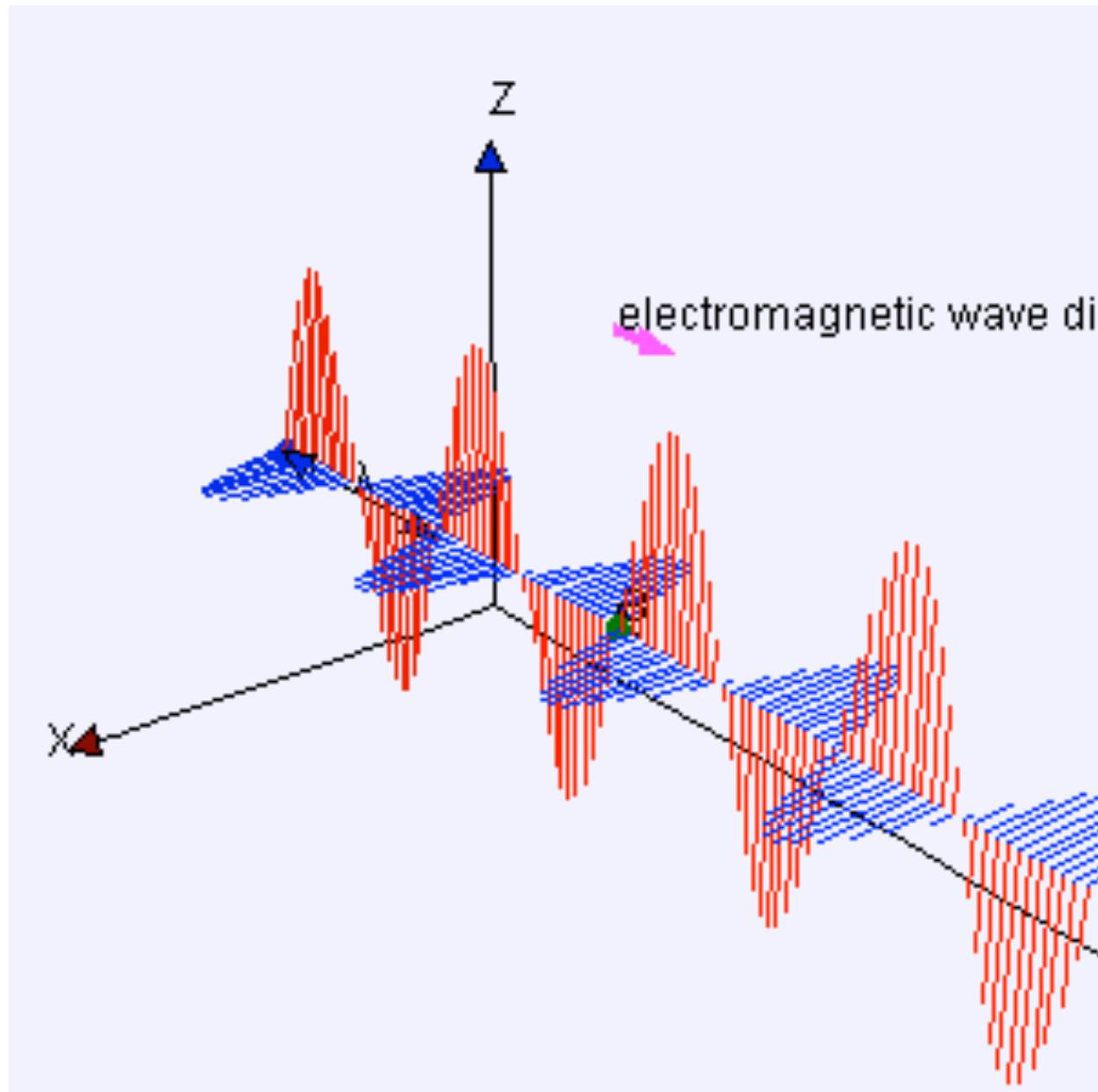
- No caso específico para ondas eletromagnéticas:  $v = c$
- $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$
- $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$
- $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$
- Luz visível:  $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$



$$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$$



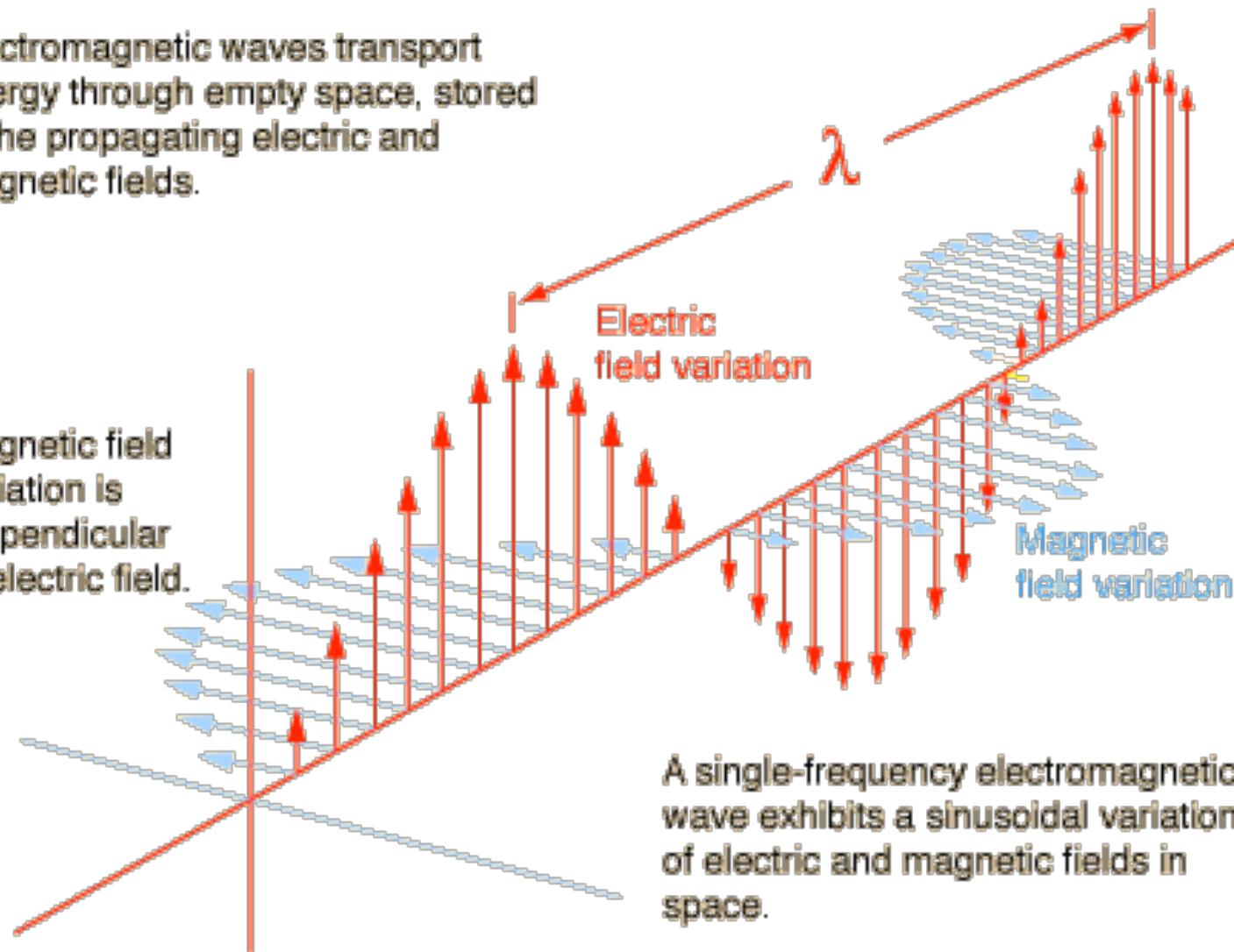
# Propriedades



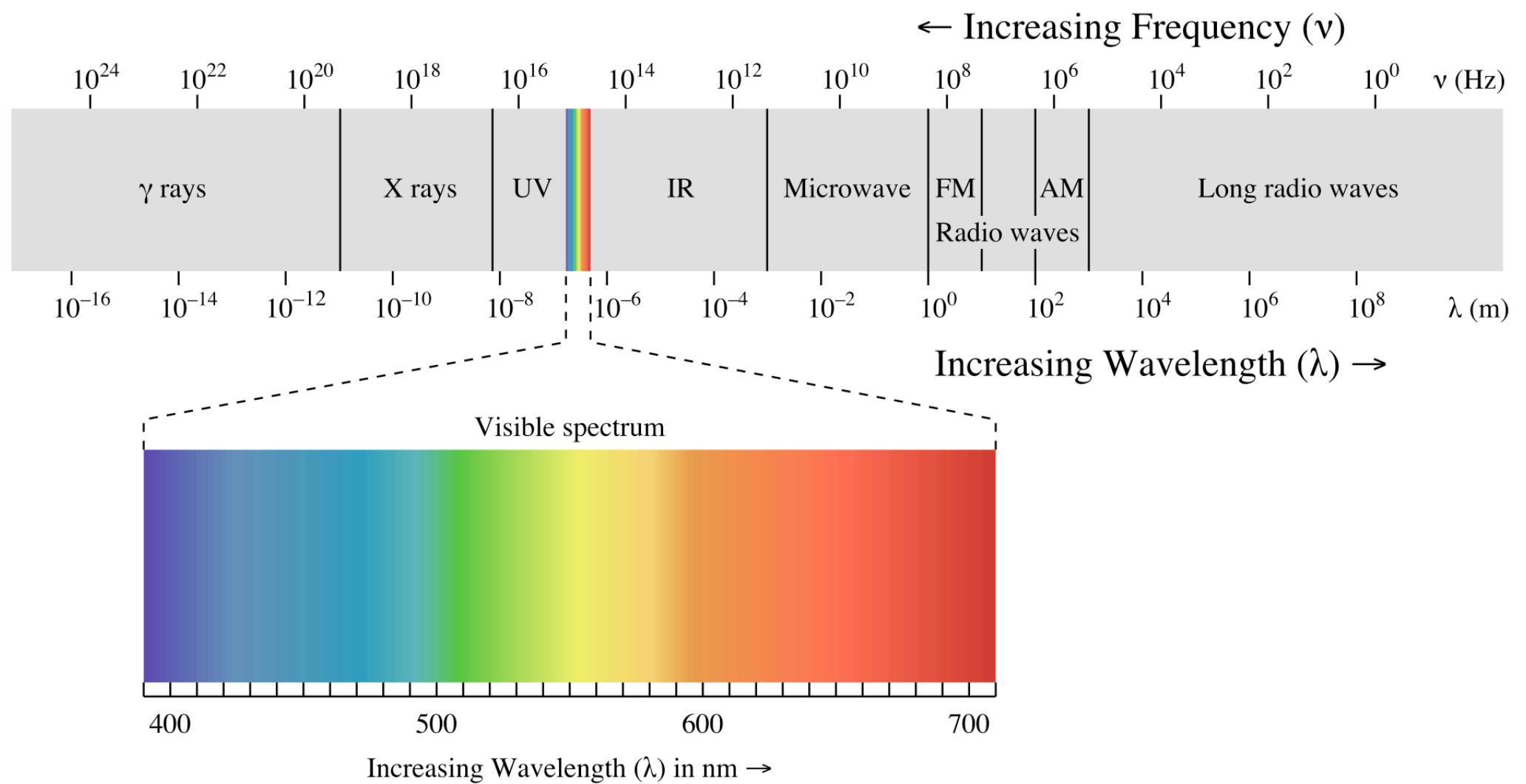
# Propriedades

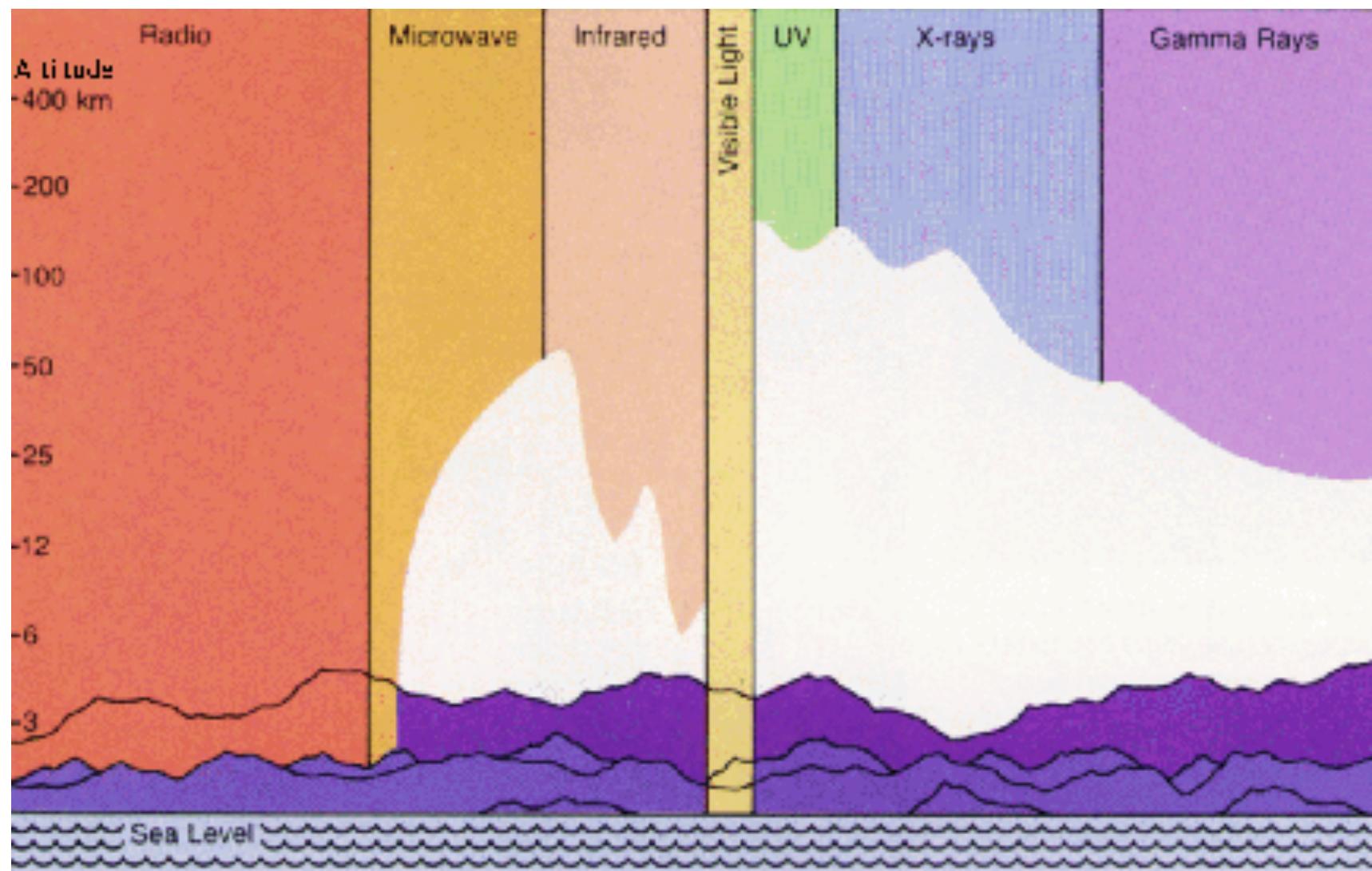
Electromagnetic waves transport energy through empty space, stored in the propagating electric and magnetic fields.

Magnetic field variation is perpendicular to electric field.



A single-frequency electromagnetic wave exhibits a sinusoidal variation of electric and magnetic fields in space.





# Teoria dos Quanta

- Max e Planck e Albert Einstein: fótons são os quantum de energia da radiação
- A radiação é formada por “bolinhas” que se propagam
- A intensidade da onda é determinada pelo número de fótons
- A energia é definida pela energia do fóton
- Os fótons não tem massa nem carga

# Teoria dos Quanta

- Energia do fóton:  $E = hf = hc/\lambda$
- $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} = \text{constante de Planck}$
- fóton: caráter corpuscular da onda
- Validação experimental: efeito fotoelétrico (1905)

Exemplo 1.1 – Qual é a energia de um fóton de luz amarela, sabendo-se que sua freqüência é de  $6 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ?

Solução

$$E = hf = (6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(6 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$E \cong 4 \times 10^{-19} \text{ J} \rightarrow \text{muito pequeno!}$$

# Dualidade partícula onda

- Radiação tem caráter corpuscular (fóton), mas era uma onda!
- E a matéria, tem caráter ondulatório?
- Em 1924, de Broglie propôs que toda matéria tem um  $\lambda$  associado dado por:

$$p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

# Dualidade partícula onda

**Exemplo 1.2** — Determine o comprimento de onda de de Broglie de um elétron com uma velocidade de  $5 \times 10^7$  m/s. A massa do elétron vale  $9,11 \times 10^{-31}$  kg.

**Solução**

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{(9,11 \times 10^{-31} \text{ kg})(5 \times 10^7 \text{ m/s})}$$

$$\lambda = 1,46 \times 10^{-11} \text{ m} = 0,146 \text{ Å}$$

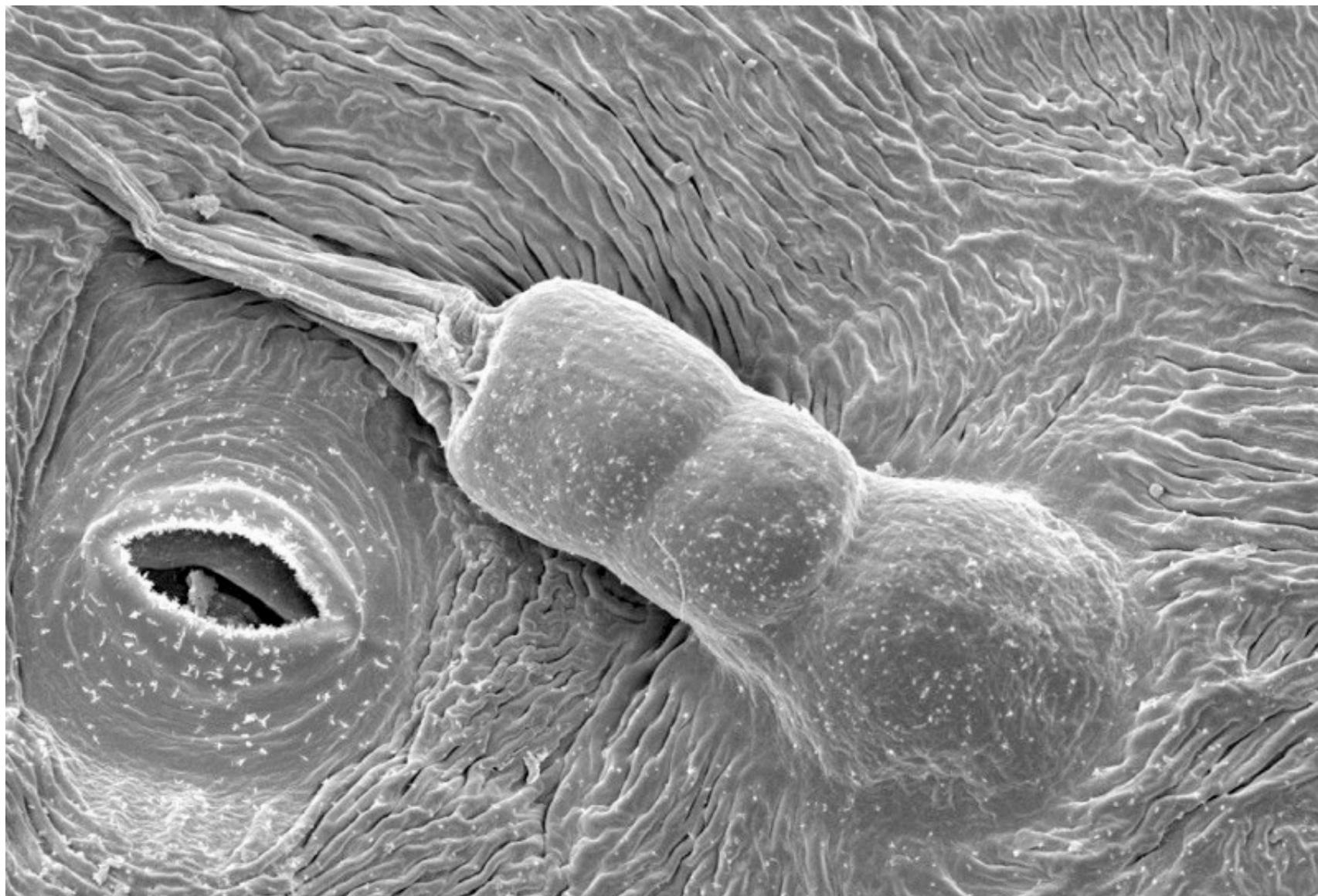
com valores característicos nessa  
velocidade

**Exercício Proposto** — Determine o comprimento de onda associado a uma bola de 1 kg, cuja velocidade é de 1 m/s. Comente o resultado.

# Microscópio eletrônico

- Resolução maior que microscópio óptico
- Utilizado para observar estrutura nanométricas
- Utiliza um feixe de elétrons que é incidido na amostra e espalhado por ela
- Resolução para estruturas da ordem do  $\lambda$  associado dos elétrons

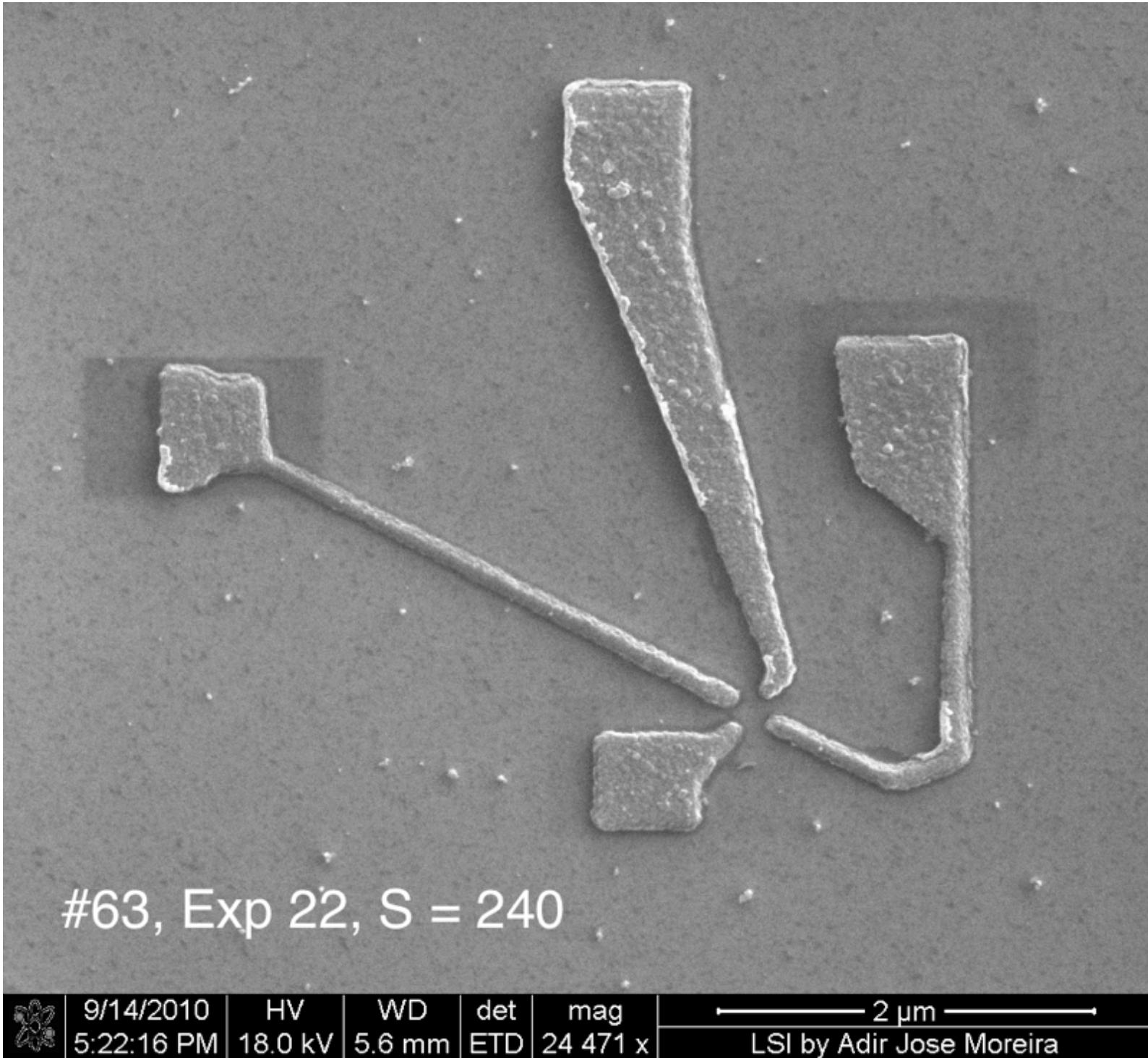




SEI 8kV WD13mm  
Apopyros NCAD 1

x1,200 10µm 08 Feb 2011

Estômatos e tricomas da Apopyros (MEV). Instituto Ciências Biológicas/UFG.  
Profa. Dra. Moemy Gomes de Moraes e profa. Dra. Maria Helena Rezende.



#63, Exp 22, S = 240



9/14/2010  
5:22:16 PM

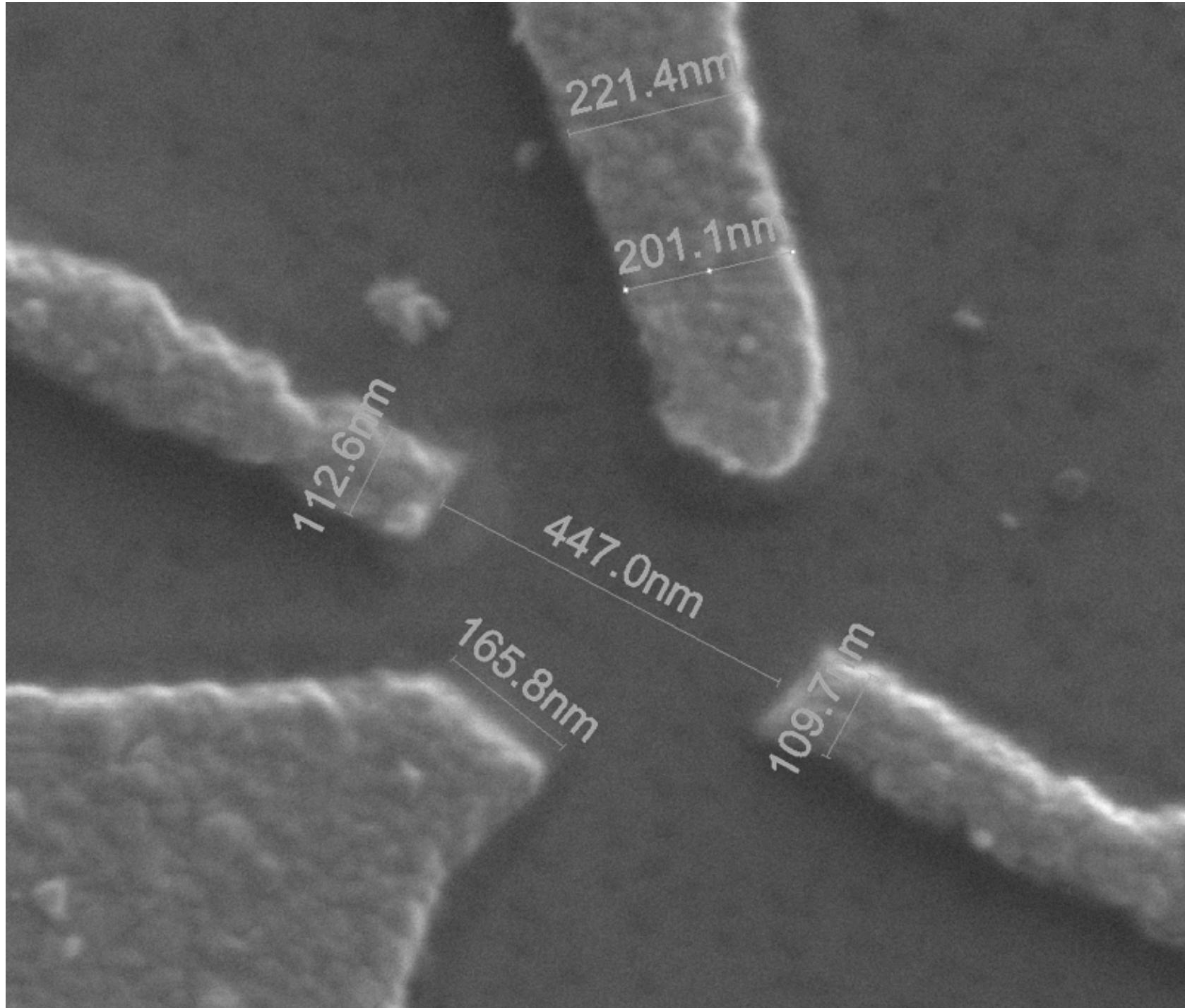
HV  
18.0 kV

WD  
5.6 mm

det  
ETD

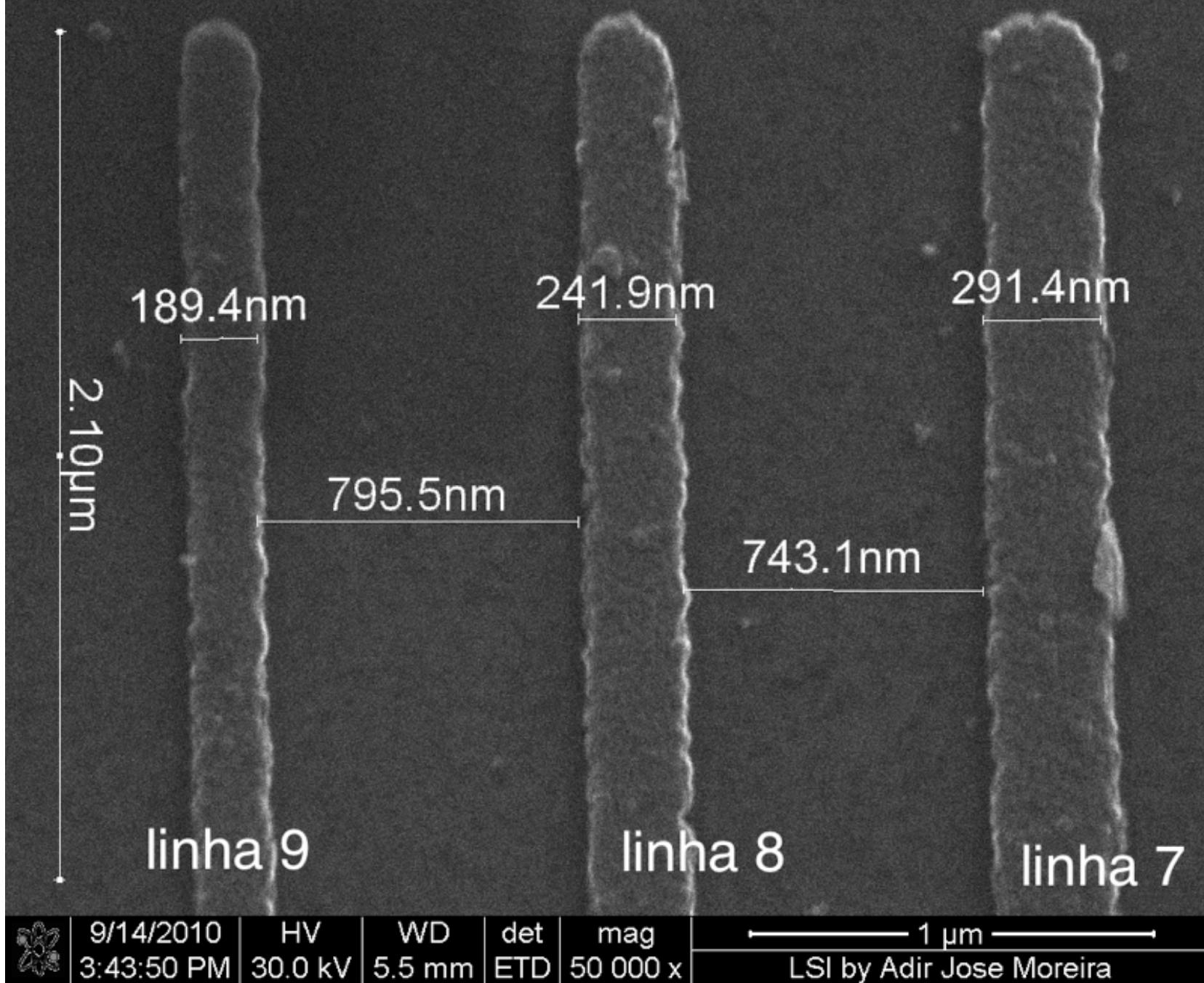
mag  
24 471 x

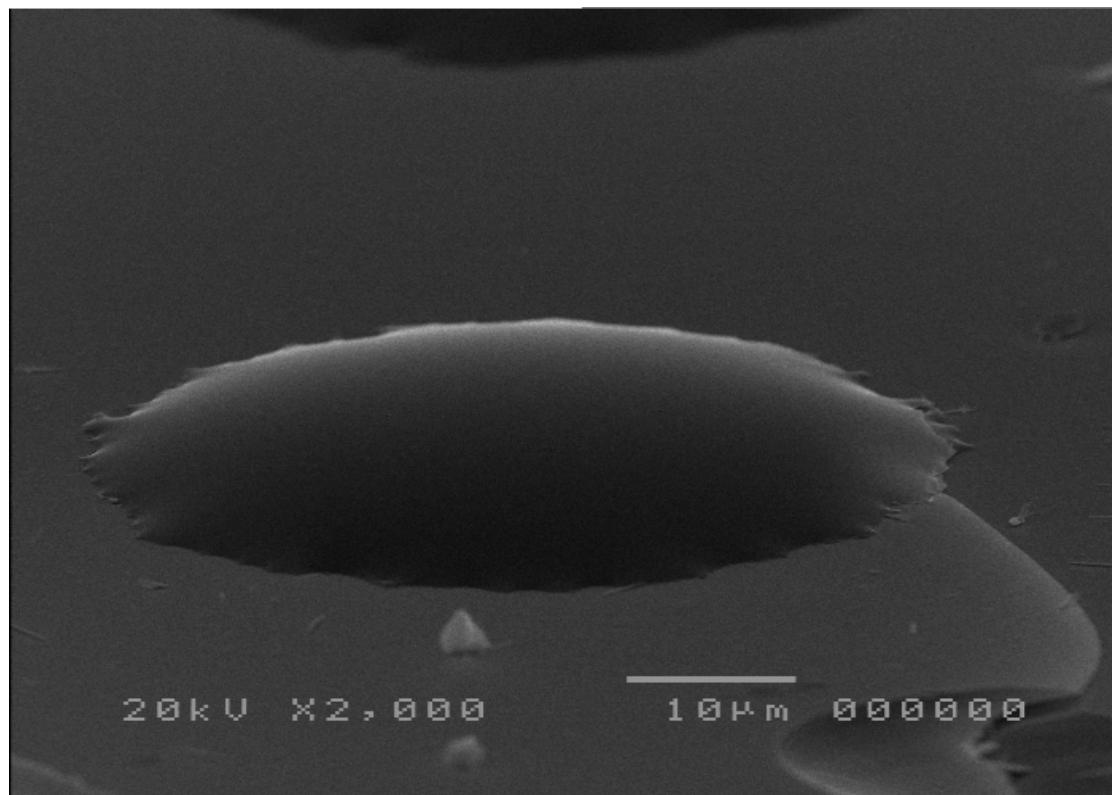
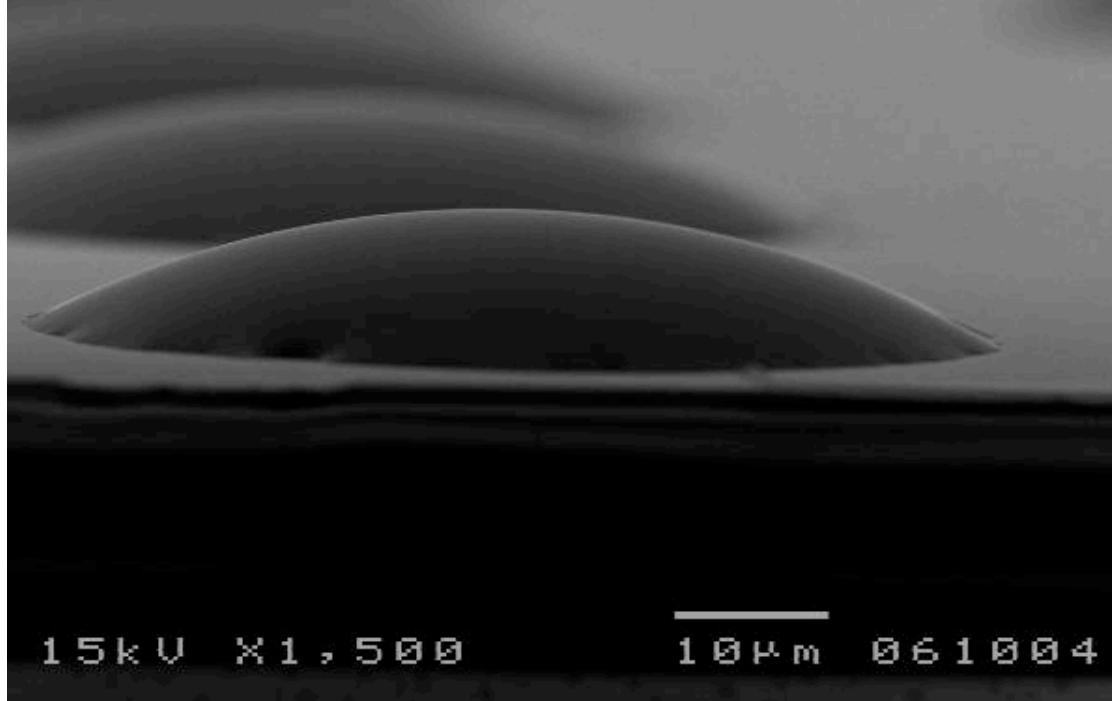
2  $\mu$ m  
LSI by Adir Jose Moreira

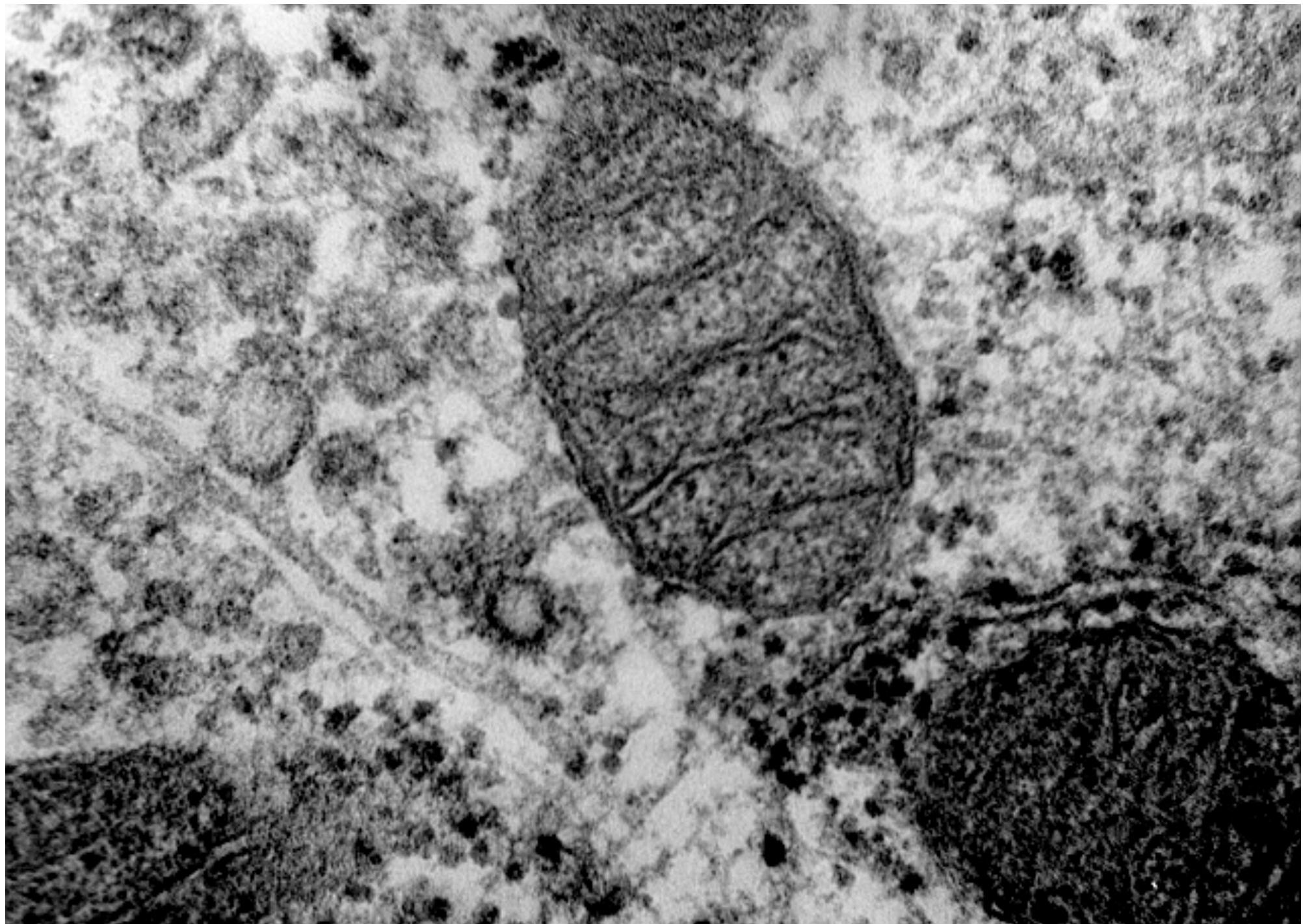


	9/14/2010	HV	WD	det	mag	500 nm
	5:37:01 PM	18.0 kV	5.6 mm	ETD	107 600 x	LSI by Adir Jose Moreira

# #63, Exp 2, conj. 1, S = 700



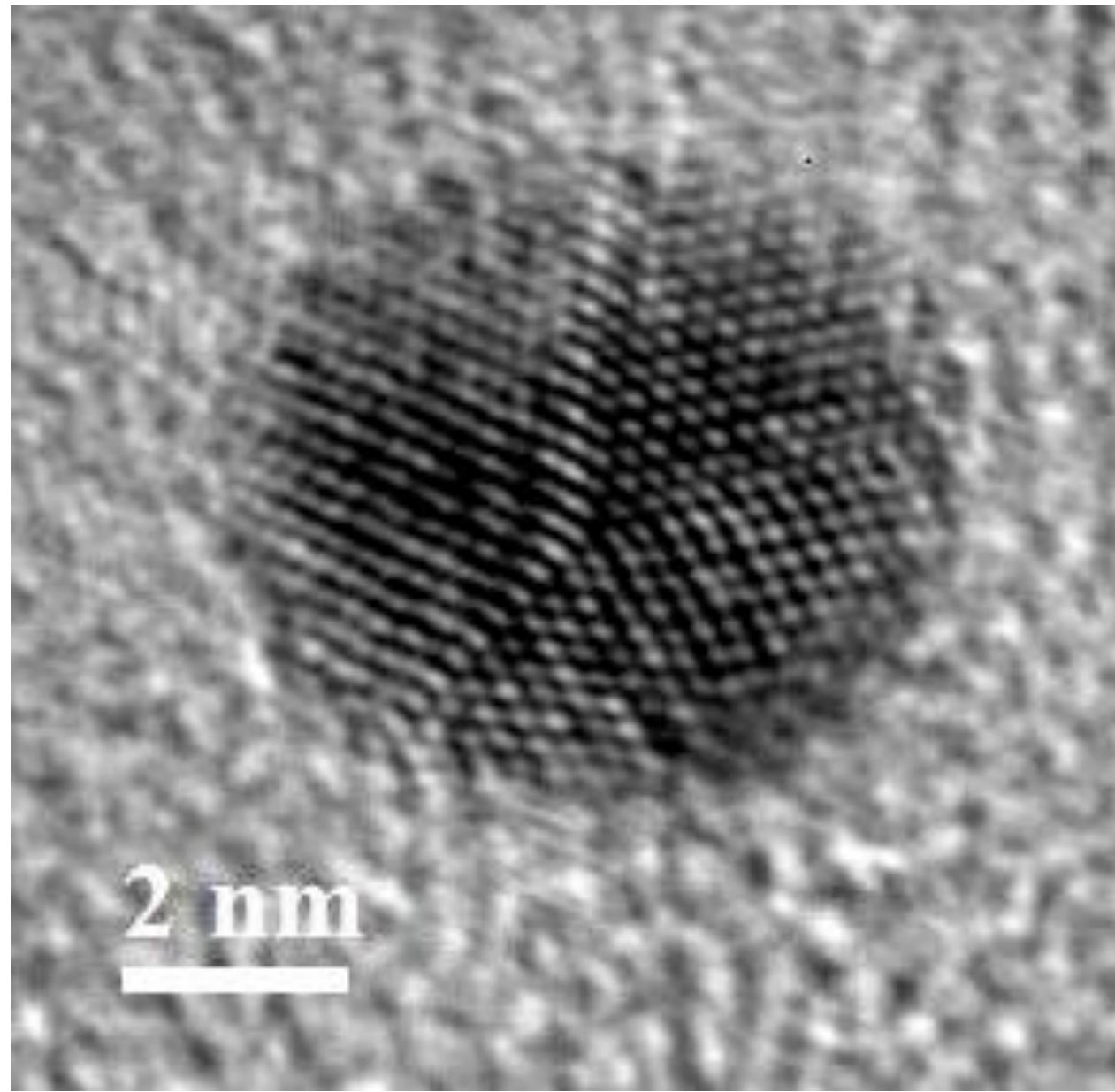




50 nm

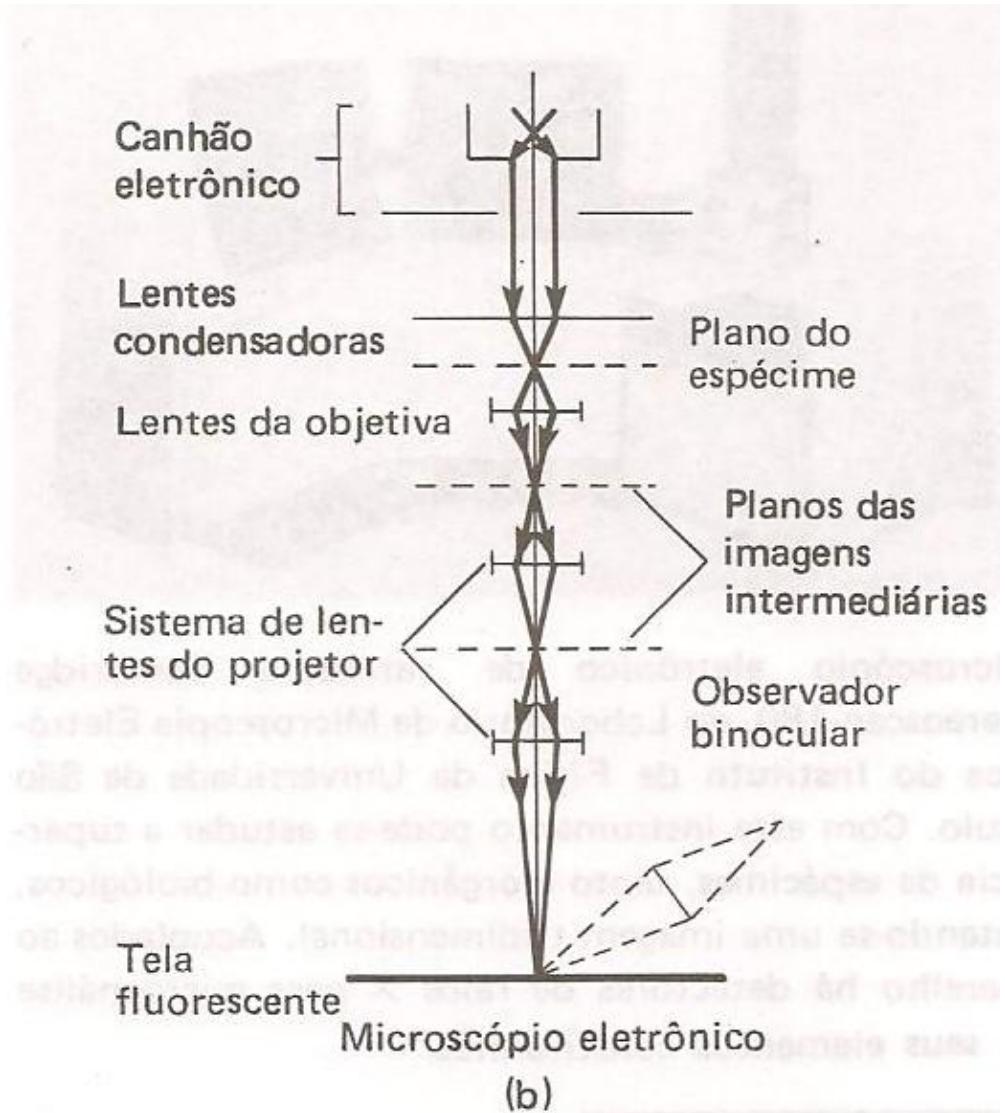
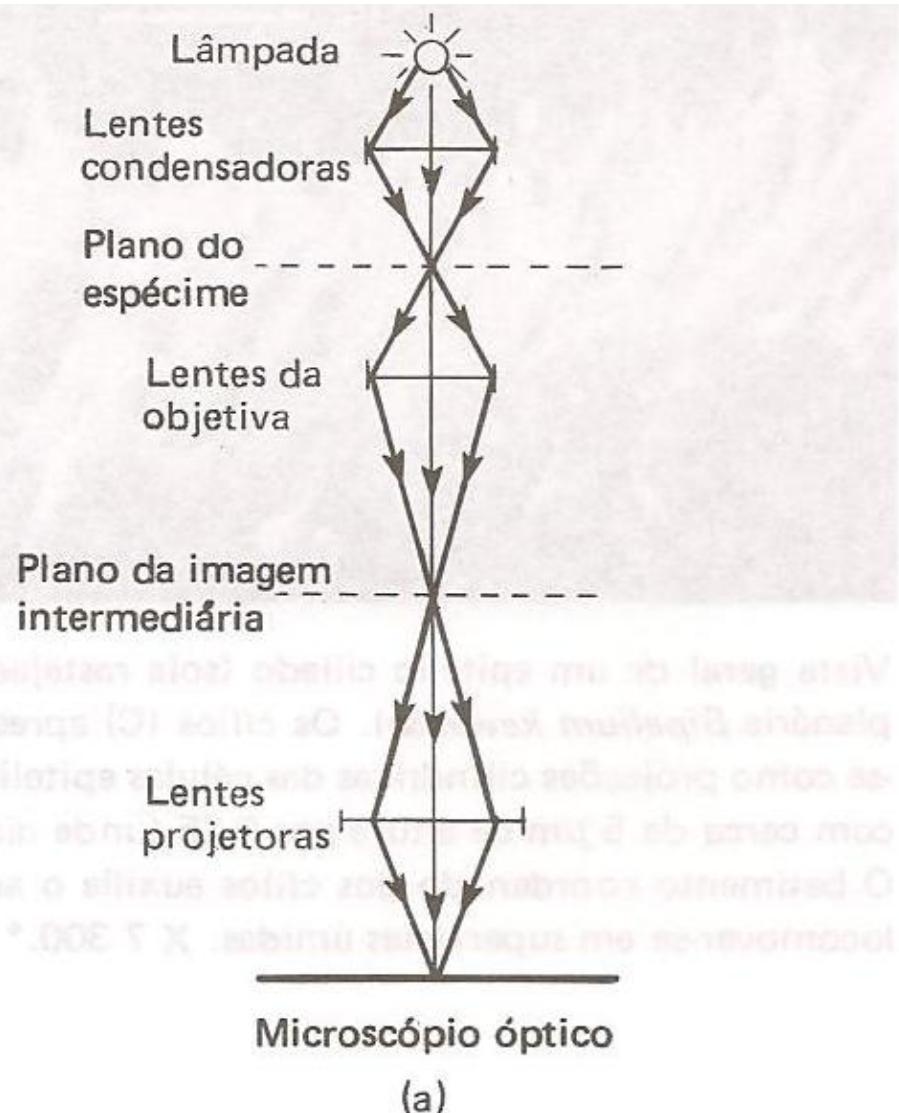
05LungTEM

1/7/0 REMF



# Microscópio eletrônico

- Tensão de aceleração dos elétrons: 50 kV
- $\lambda = 0,06 \text{ \AA}$
- Campos elétricos e magnéticos são utilizados como lentes para direcionar os elétrons
- Aumentos de até 350 mil vezes (ópticos de até 20 mil vezes)



# Microscópio eletrônico

**Exemplo 1.3** – Calcule o comprimento de onda da radiação eletromagnética associada a um fóton de 5 eV.

**Solução**

Para o fóton usa-se a Equação (1.5) e não a (1.6) como para outras partículas.

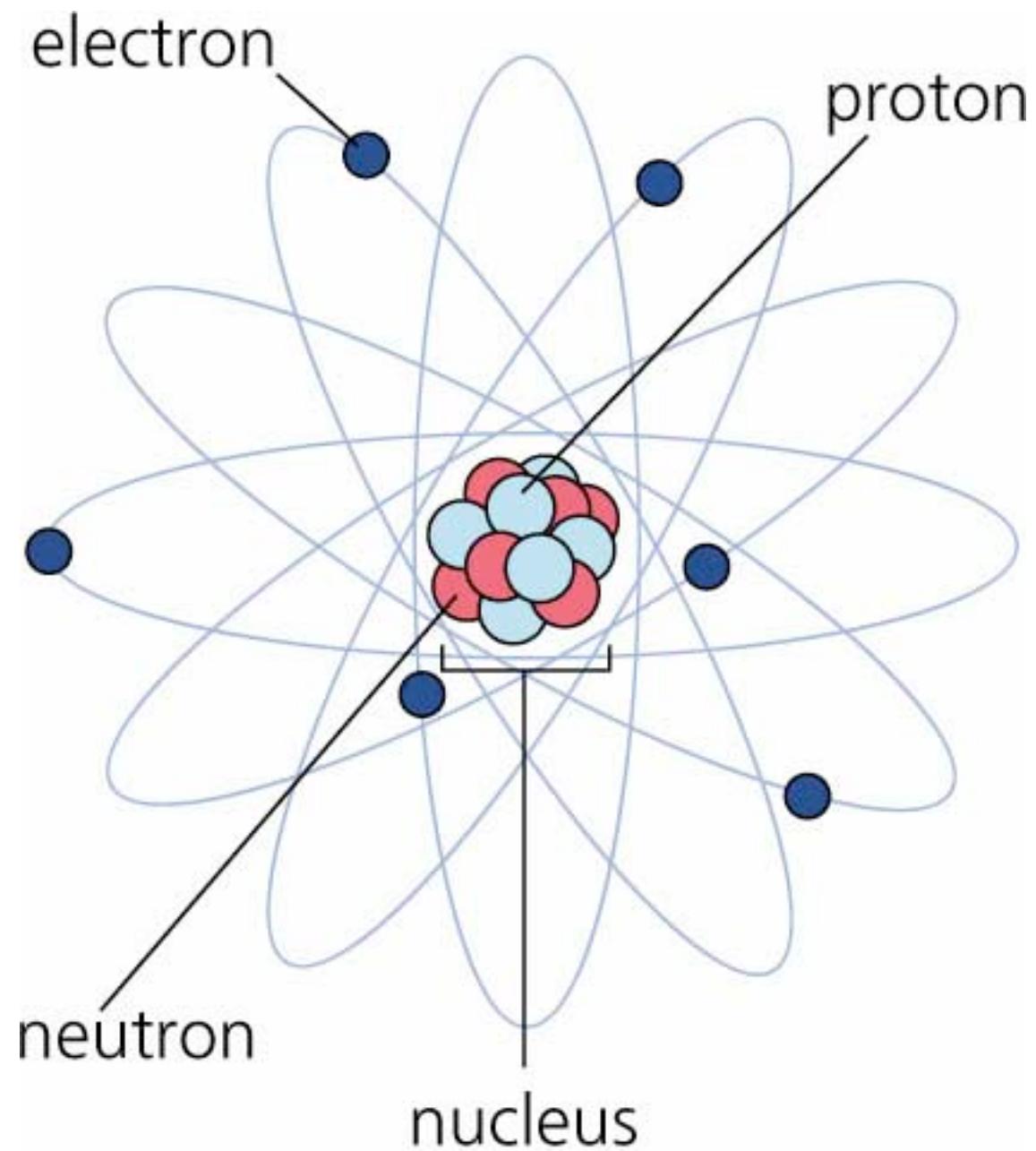
$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{(4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s})(3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})}{5 \text{ eV}}$$

$$\lambda = 2,48 \times 10^{-7} \text{ m} = 2\,480 \text{ \AA}$$

A radiação eletromagnética com esse comprimento de onda corresponde à luz ultravioleta.

# Tipos de radiação

- Ionização: remoção de elétrons das moléculas
- Consequências: mutações genéticas e modificações nas células vivas
- Radiação corpuscular e eletromagnética pode ser ionizante



Academy Artworks

# Radiação $\alpha$

- Núcleo do átomo de hélio: 2 prótons e 2 nêutrons
- Quanto mais energética, maior o seu alcance e maior o número de ionizações que ela causa
- Pouca penetração: uma folha de alumínio de 20  $\mu\text{m}$  barra completamente
- O perigo é quando são ingeridas
- Produzidas em decaimentos radiativo

# Radiação $\beta$

- Também é matéria: elétrons ou pósitrons (anti-matéria do elétron)
- Médio poder de penetração: plástico ou alumínio já barra completamente
- Também pode ionizar moléculas

**Tabela 1.1 – Alcance das partículas  $\alpha$  e  $\beta$  no ar, no tecido humano e no alumínio.**

Energia (MeV)	Alcance (cm)		
<i>Partículas alfa</i>	Ar	Tecido humano	Alumínio
1,0	0,55	$0,33 \times 10^{-2} = 33 \mu\text{m}$	$0,32 \times 10^{-3} = 3,2 \mu\text{m}$
2,0	1,04	$0,63 \times 10^{-2}$	$0,61 \times 10^{-3}$
3,0	1,67	$1,00 \times 10^{-2}$	$0,98 \times 10^{-3}$
4,0	2,58	$1,55 \times 10^{-2}$	$0,50 \times 10^{-3}$
5,0	3,50	$2,10 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-3}$
<i>Partículas beta</i>	Ar	Tecido humano	Alumínio
0,01	0,23	$0,27 \times 10^{-3}$	
0,1	12,0	$1,51 \times 10^{-2}$	$4,3 \times 10^{-3}$
0,5	150	0,18	$5,9 \times 10^{-2}$
1,0	420	0,50	0,15
2,0	840	1,00	0,34
3,0	1 260	1,50	0,56

# Nêutrons

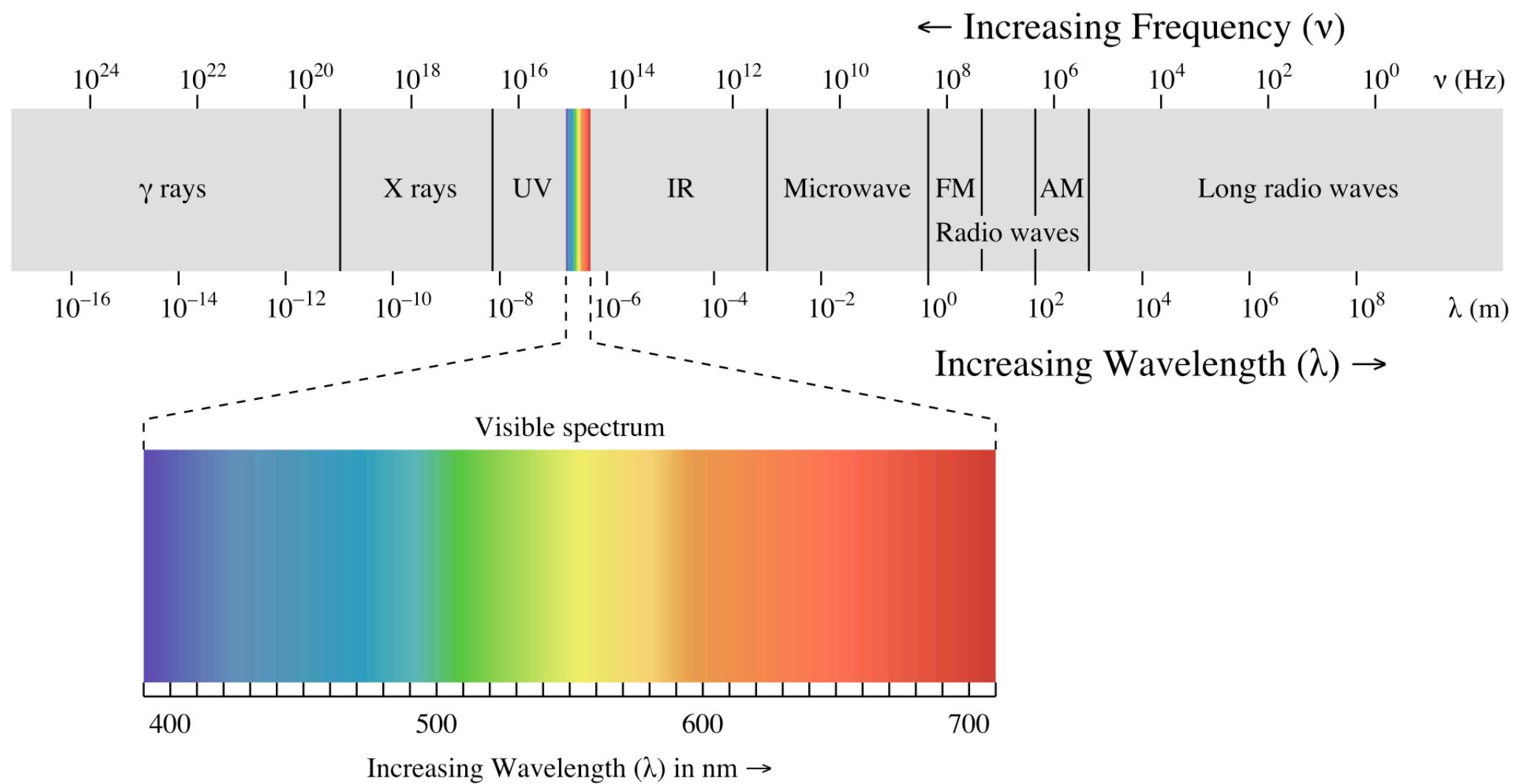
- Não tem carga elétrica
- Por isso não ioniza diretamente, apenas indiretamente
- Alta penetração

**Tabela 1.2 – Carga e massa das radiações corpusculares.**

	Alfa	Elétron	Pósitron	Nêutron	Próton
carga	$+2e$	$-e$	$+e$	0	$+e$
massa (kg)	$6,644 \times 10^{-27}$	$9,109 \times 10^{-31}$	$9,109 \times 10^{-31}$	$1,675 \times 10^{-27}$	$1,672 \times 10^{-27}$

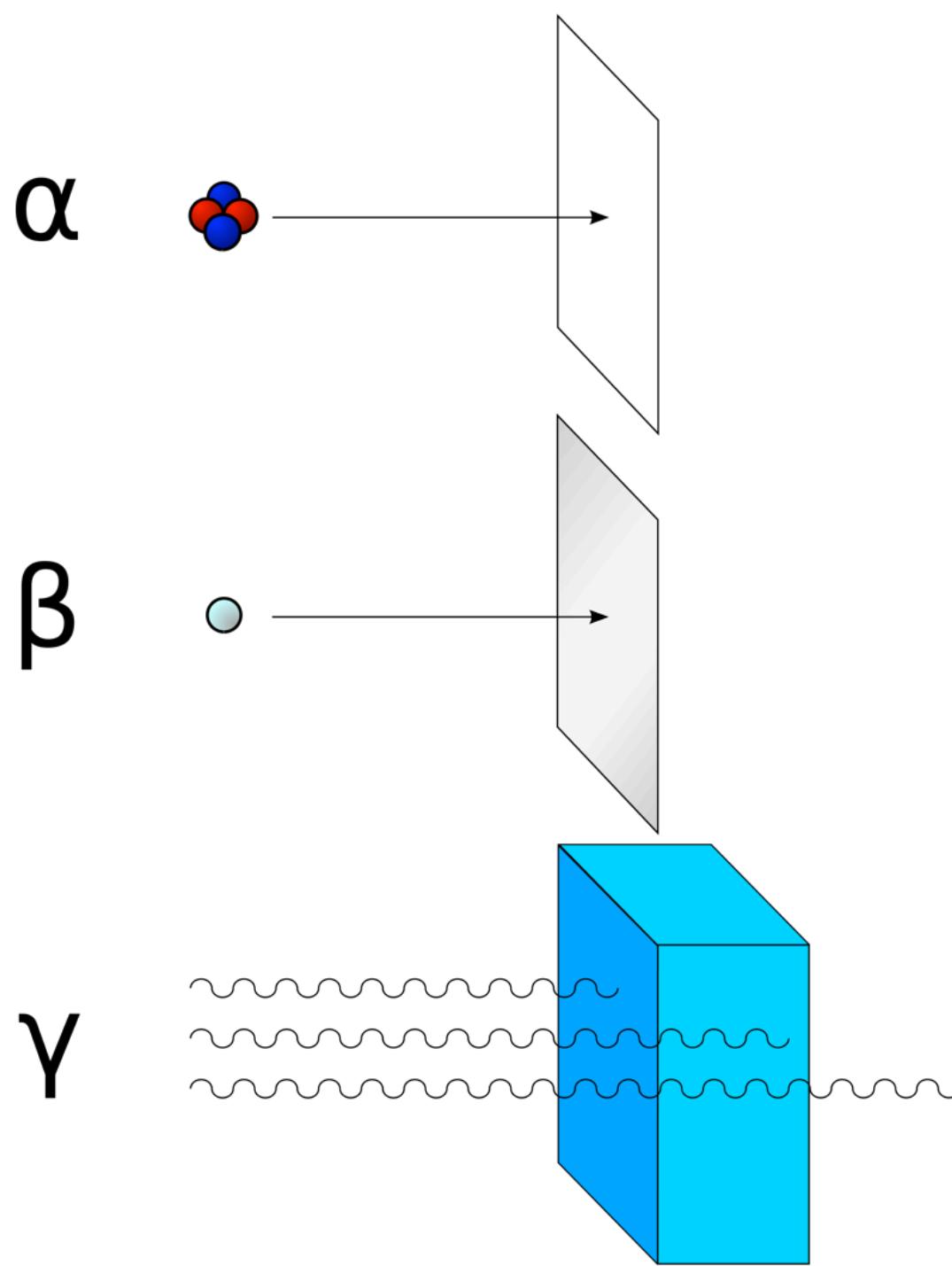
# Raios $\gamma$

- Radiação eletromagnética
- Interação com a matéria: efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares
- Alta ionização
- Pode ter alta penetração



# Raio X

- Também são ondas eletromagnéticas, porém tem menos energia que raios  $\gamma$
- São originados pela desaceleração de elétrons
- Mesmas características que os raios  $\gamma$
- Muito utilizado na medicina



# Polônio

- Alexander Litvinenko era um agente da KGB da Rússia.
- Porém, estava exilado na Inglaterra, pois se tornou contra o governo russo
- Se tornou jornalista investigativo sempre questionando e denunciado atos terroristas do governo russo, em específico contra Vladimir Putin
- Por exemplo, na guerra da Chechenia



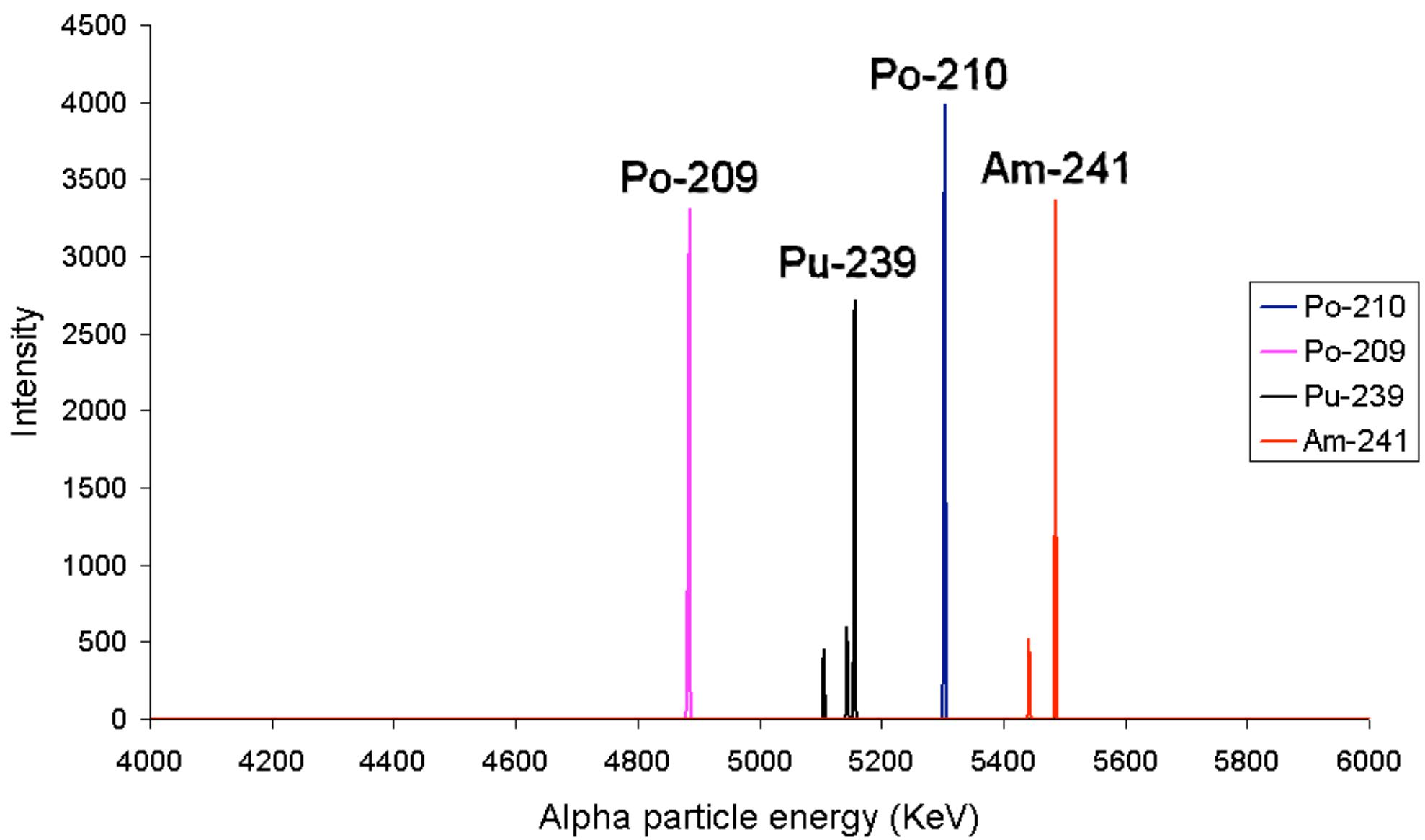
Thursday, September 19, 13

# Polônio

- Em 01 de novembro de 2006 ficou doente e foi hospitalizado.
- 3 semanas depois ele morreu, sem ninguém ainda ter descoberto qual era a doença
- Depois da biópsia, ficou esclarecido o motivo: envenenamento por polônio ( $10 \mu\text{g}$ )
- Polônio emite basicamente partículas  $\alpha$  apenas: dose letal  $0,05 \mu\text{g}$



Thursday, September 19, 13



# Polônio

- Polônio não é vendido comercialmente
- Apenas é produzido em usinas nucleares
- 97 % de sua produção é em usinas na Rússia
- Cerca de 85 gramas são produzidas anualmente
- Todo esse montante é enviado para os Estados Unidos

# Polônio

- Por que polônio?
- Não é detectado nos aeroportos
- Não é detectado no corpo humano, enquanto a pessoa estiver viva
- Cria uma série de sintomas, dificultando o diagnóstico
- Na ideia dos russos: não havia equipamentos disponíveis para se detectar polônio

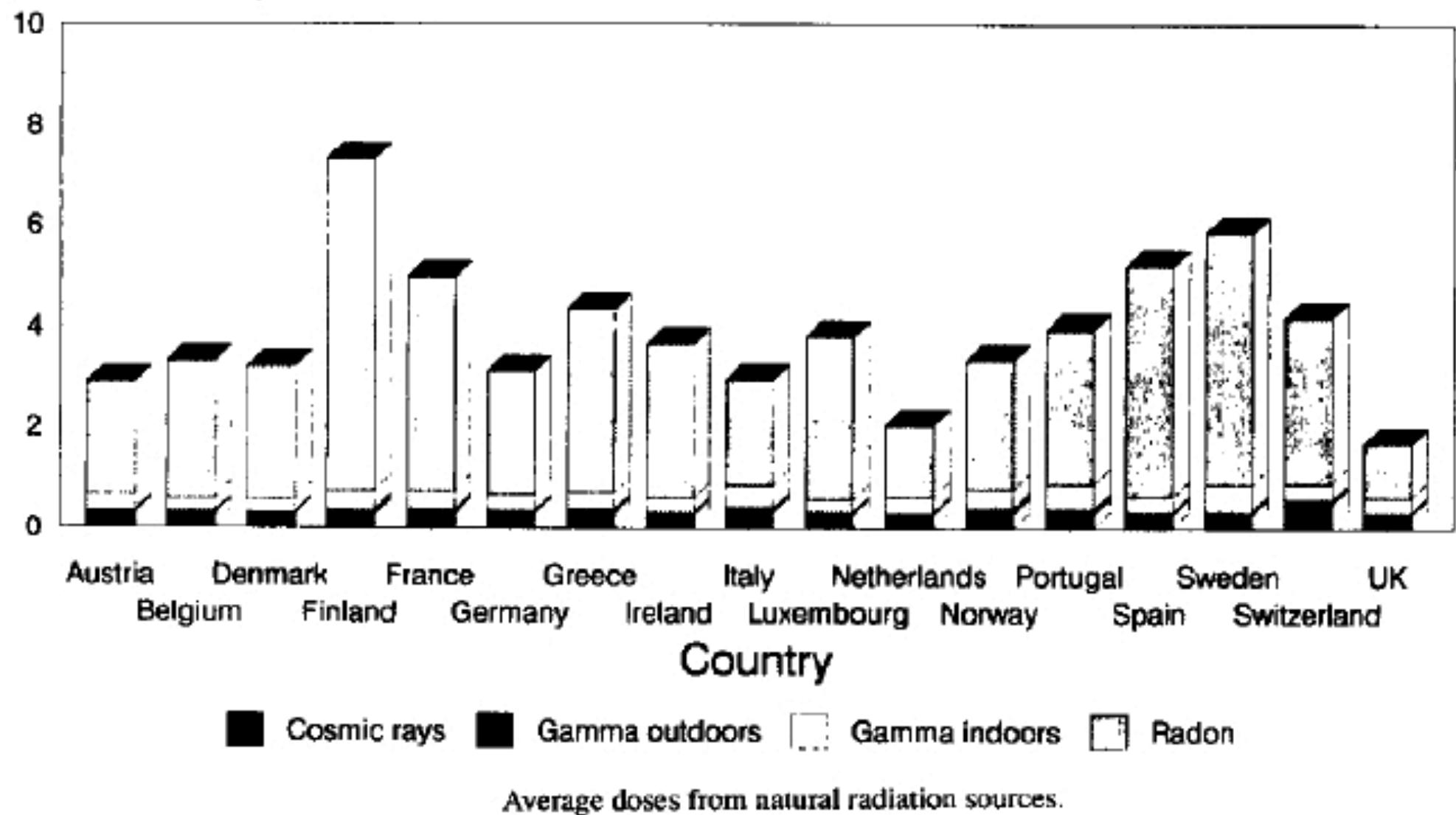
# Polônio

- De fato, não é prática ter detectores de partículas  $\alpha$  nos hospitais
- Mas, a tecnologia existe!
- E o envenenamento foi em Londres!!
- No hospital, buscaram o equipamento para detectar partículas  $\alpha$ !

# Radiações na natureza

- Há radiação constantemente em nosso planeta: produzido aqui dentro e vindas de fora, chamada radiação de fundo
- A atmosfera bloqueia grande parte da radiação vinda do espaço
- Em altas altitudes, a radiação incidente é maior, sendo prejudicial

## Annual dose, mSv.



# **Lista de exercícios**

- 1, 3, 4, 6, 7, 13, 14, 16, 17, 18