



Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Departamento de Ciências Exatas e Naturais

2 – Física da Radiação
Física Para Ciências Biológicas

Prof. Roberto Claudino Ferreira

ÍNDICE

1. Conceito de radiação;
2. Classificação das radiações;
3. Quanta de luz;
4. Dualidade onda partícula;
5. Radiação ionizante;
6. Aplicações gerais das radiações;
7. Proteção radiológica;
8. Decaimento radioativo;
9. Aplicação da radiação na biologia e medicina;
10. Efeitos biológicos da radiação.

OBJETIVO GERAL

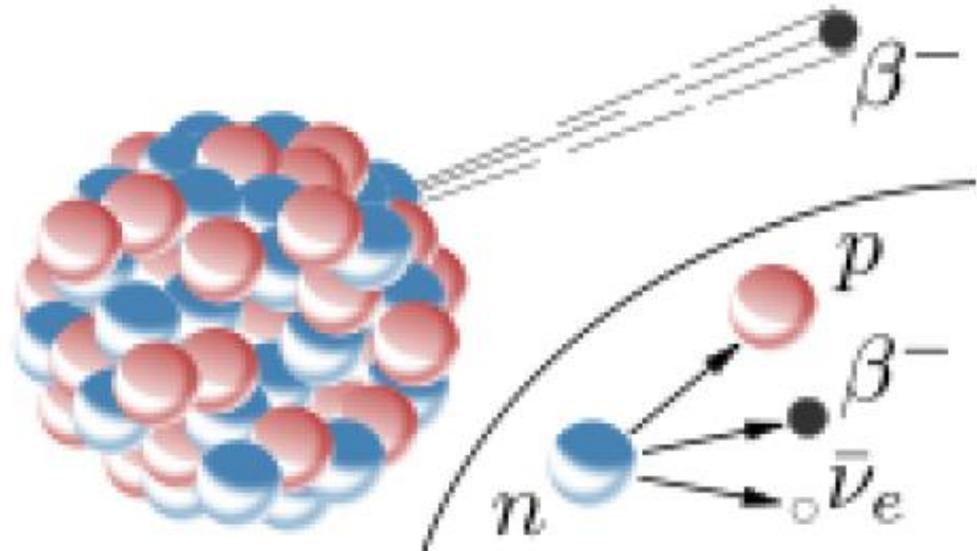
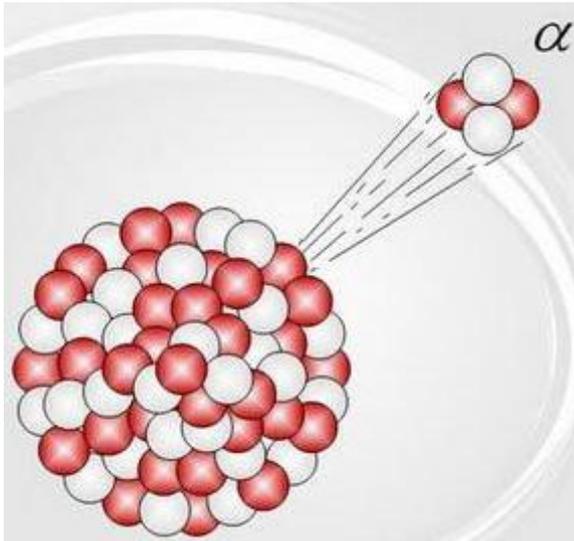
Explicar os tipos de radiações e suas características e aplicações, apresentar também a teoria dos quanta e da dualidade onda partícula abrangendo conceitos básicos da física moderna.

1 - Radiação

É a propagação de energia sob a forma de radiação corpuscular ou radiação eletromagnética.

1.1 - Radiação Corpuscular

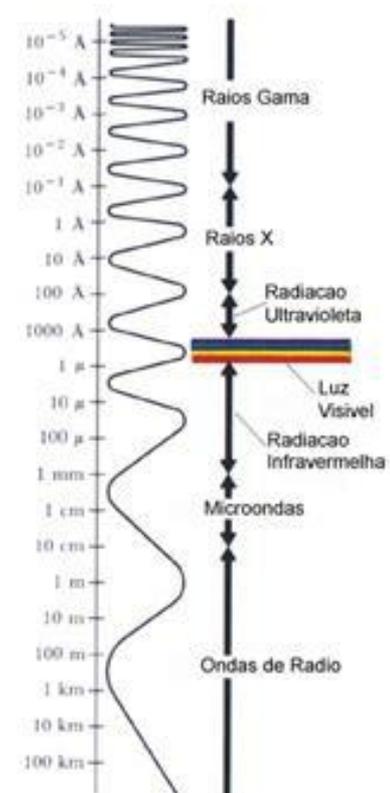
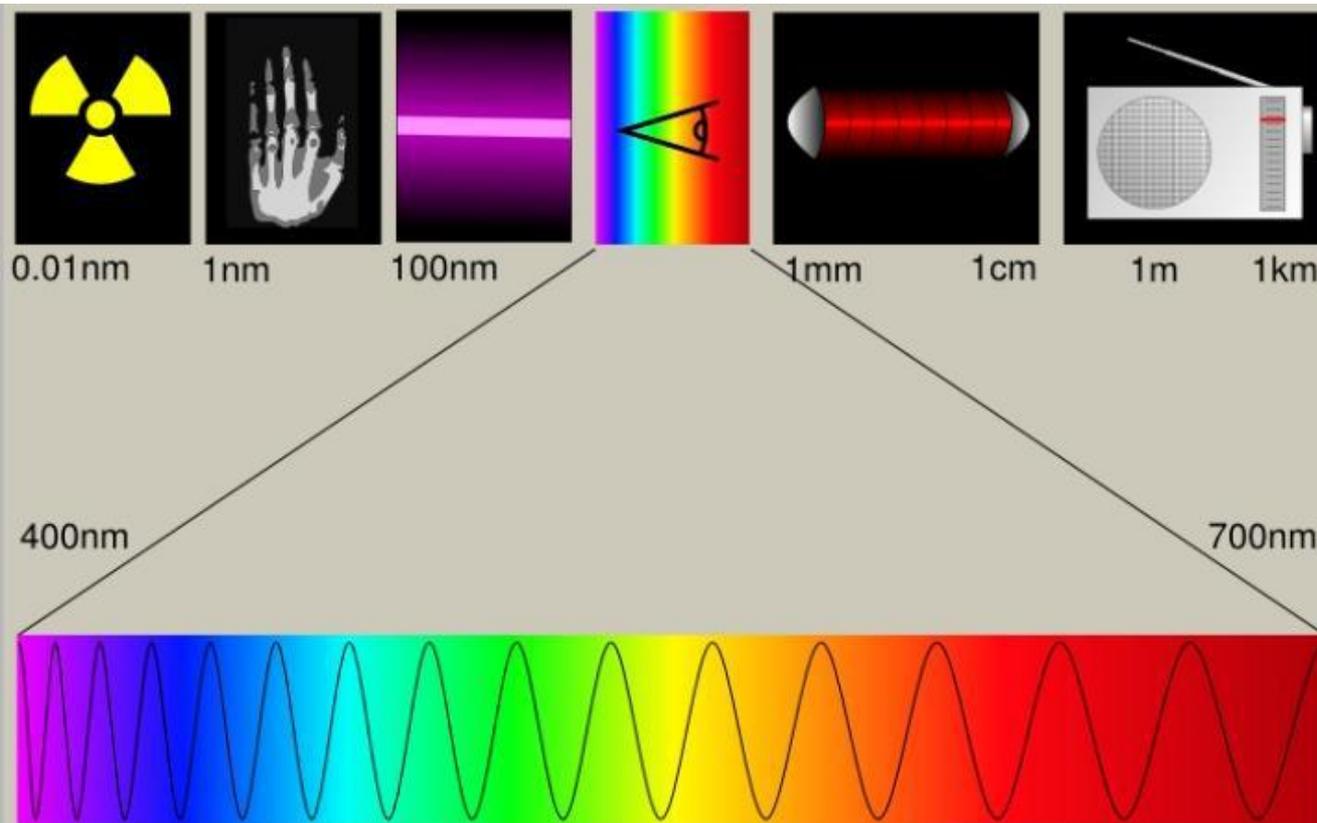
É constituída de um feixe de partículas elementares tais como: Feixe de prótons, de elétrons, partículas alfa, partículas beta, e outras.



Energia cinética da partícula, se $v \ll c$. \longrightarrow
$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

1.2 - Radiação Eletromagnética

É constituída de campos elétricos e magnéticos oscilantes, se propagam com velocidade constante (c) no vácuo. Exemplos: Ondas de rádio, micro ondas, luz visível, raios X.



1.3 - Relação Velocidade, Frequência e Comprimento de Onda

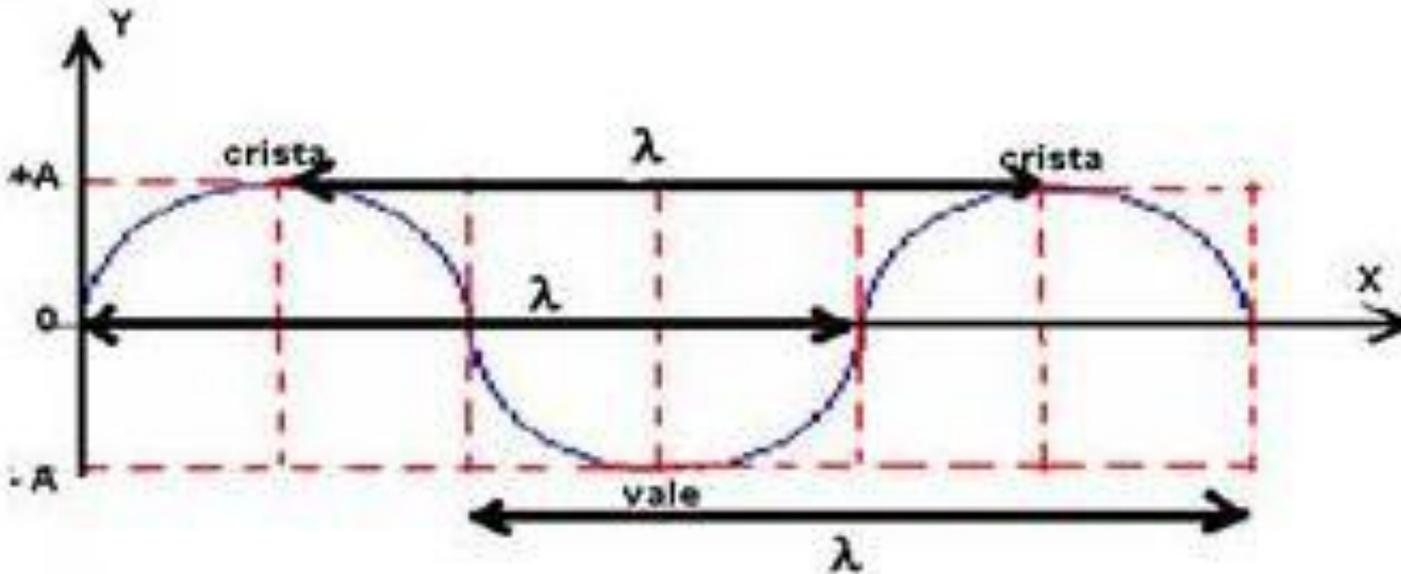
$$v = \lambda \cdot f$$

Unidades no (SI)

v = Velocidade; (m/s)

λ = Comprimento de Onda; (m)

f = Frequência. (Hz)



1.4 - Medida de Comprimento de Onda

Os comprimentos de ondas das radiações eletromagnéticas são muito pequenas e portanto são medido com submúltiplos do metro.

Comprimento de onda (m)	Outras unidades	Espécimes	Radiação
10^{-15}		núcleo dos átomos	raios gama raios X
10^{-12}	1,24 MeV		
10^{-11}	0,1 Å		ultravioleta
10^{-10}	1,0 Å	átomos	
10^{-9}	1 nm	vírus moléculas	luz visível
10^{-8}	100 Å		
10^{-7}	1 000 Å	células	infravermelha
	4 000 Å		
	7 000 Å		
10^{-6}	1 μm	insetos	ondas de rádio
10^{-5}	10 μm		
10^{-4}	100 μm		
10^{-3}	1 mm	televisão e FM	
10^{-2}	1 cm		
10^{-1}	10 cm		
1	300 MHz		
10	30 MHz		
10^2	3 MHz		
10^3	1 km		

1º Problema:

A frequência do extremo vermelho é de 405 THz e seu comprimento de onda é de 740 nm. Qual a velocidade dessa faixa da luz visível?

2º Problema:

A frequência do extremo violeta é de 680 THz e seu comprimento de onda é de 440 nm. Qual a velocidade dessa faixa da luz visível?

3º Problema:

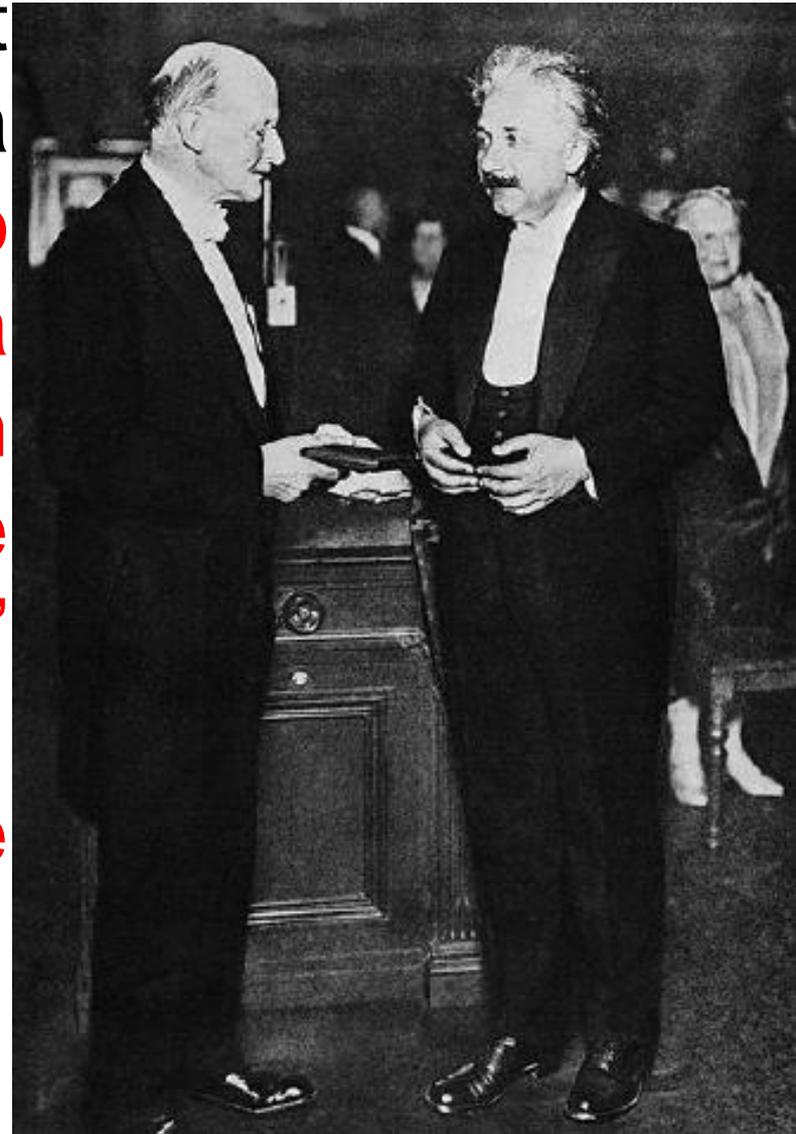
No vácuo a frequência do raio X é de 60 ExaHz e seu comprimento de onda é de 0,05 Angstrom. Qual a velocidade dessa radiação?

1.5 - Quanta de Luz

Max Planck e Albert Einstein, formularão a teoria dos quanta: A radiação eletromagnética se propaga descontinuamente em pequenos pacotes de energia “fótons”, ou “quanta” de luz.

$E = hf$ ou $E=hc/\lambda$, onde h é constante de Planck.

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$



4º Problema:

Qual é a energia de um fóton de luz amarela, sabendo-se que sua frequência é de $6 \times 10^{14} \text{ Hz}$?

OBS: O fóton é a menor quantidade de luz que pode ser emitida ou absorvida por uma célula fotossensível da retina do olho.

Vamos ter uma ideia de sua ordem de grandeza.

5º Problema:

Calcule a energia cinética de:

a) uma bola de futebol de 0,5 kg e $v = 10 \text{ m/s}$;

b) de uma pessoa de 50 kg que realiza um salto vertical de 50 cm.

c) Compare as ordens de grandeza do 5º com o 4º problema

1.6 – Dualidade Onda Partícula

A teoria dos Quanta de luz mostrou que a luz tinha comportamento de partícula “fótons”.

Em 1924, Louis de Broglie mostrou que assim como a luz, a matéria também apresenta tanto características de matéria, como de onda. Surge então a teoria da dualidade onda-partícula.

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

m = massa
v = velocidade

Característica corpuscular

h = constante de Planck
 λ = Comprimento de onda de de Broglie.

Característica ondulatória



Louis de Broglie

1.7 - Uma Nova Medida de Energia.

Uma unidade de medida muito usada na física moderna é o elétron volt.

Trata-se da energia adquirida pelo elétron ao atravessar, no vácuo, uma diferença de potencial de 1 volt.

$$1eV = (1,6 \times 10^{-19} C)(1V) = 1,6 \times 10^{-19} J$$

$$1MeV = 10^6 eV$$

6º Problema:

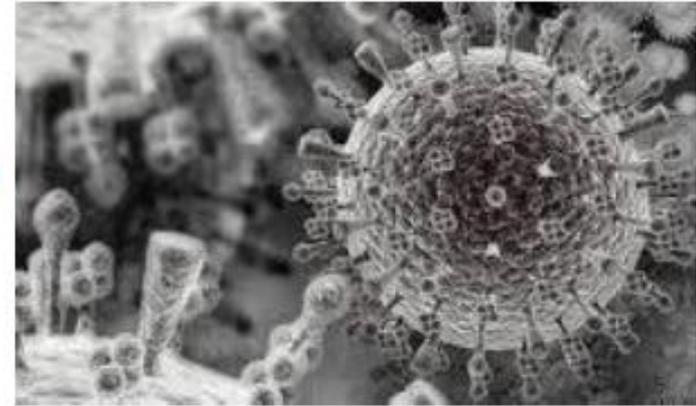
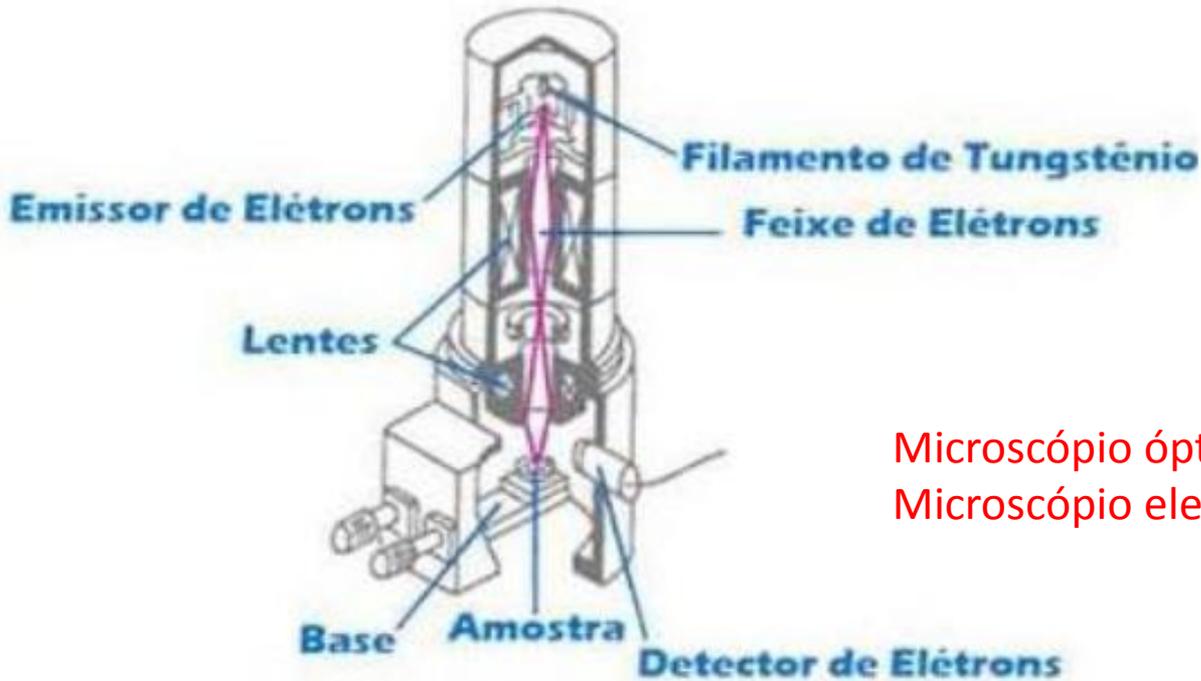
Determine o comprimento de onda de de Broglie de um elétron com uma velocidade de $5 \times 10^7 \text{ m/s}$.
A massa do elétron vale $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

7º Problema:

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

1.8 - Microscópio Eletrônico

Trata-se de uma das aplicações dos conceitos da dualidade onda-partícula. Já que o microscópio eletrônico se baseia nas propriedades ondulatórias do elétron.

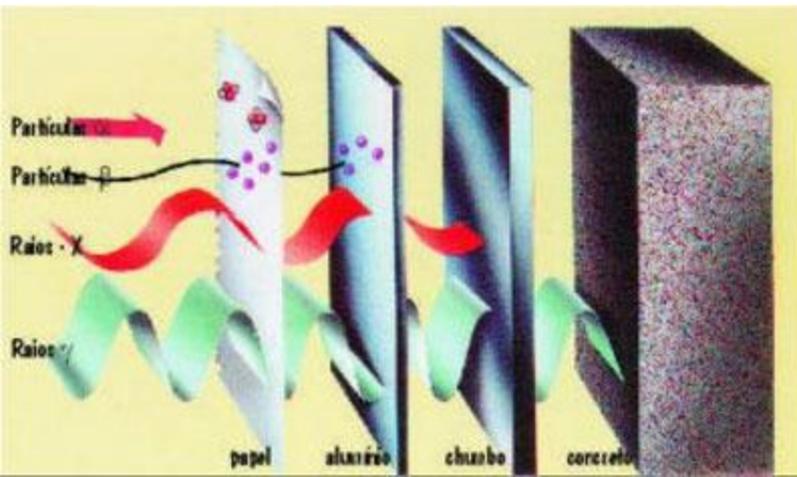
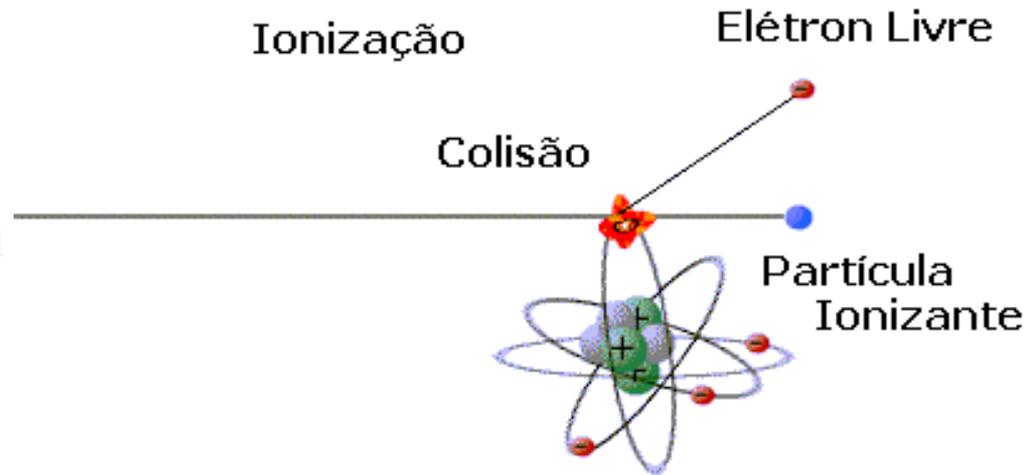
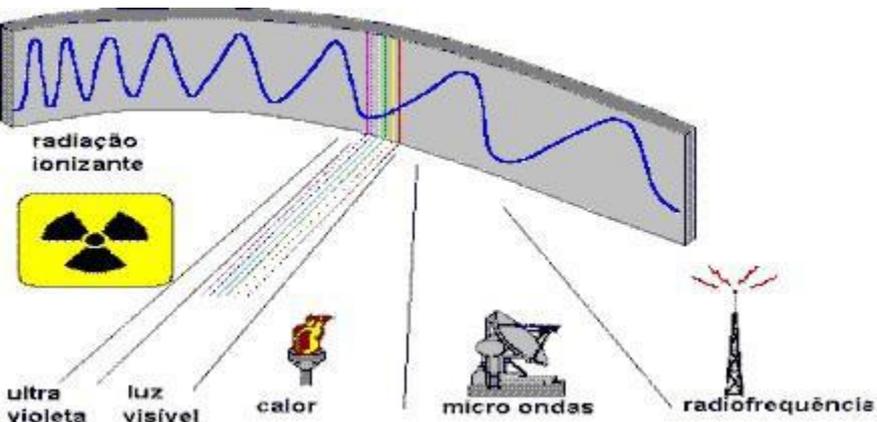


Microscópio óptico = aumento de 2.000 vezes

Microscópio eletrônico = aumento de 350.000 vezes

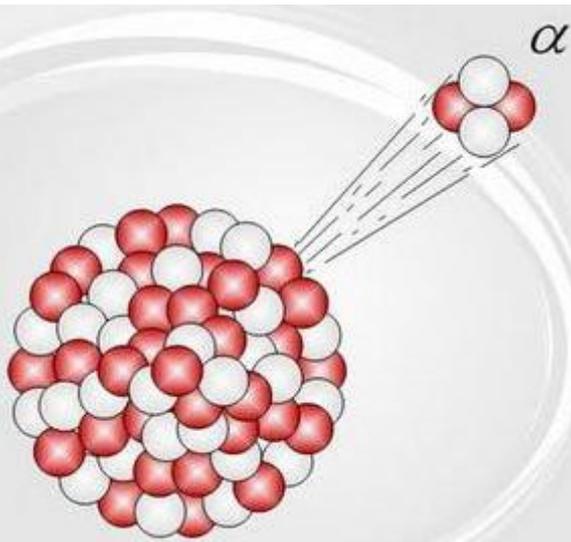
1.9 - Radiação Ionizante

É quando uma radiação de alta energia atravessa uma matéria, transferindo parte ou totalmente sua energia para seus elétrons e núcleos causando ionização ou reações.



1.10 - Radiação Alfa (α)

As partículas alfa são núcleos do átomo de hélio (2 prótons e 2 nêutrons). Surge na tentativa de outro núcleo se estabilizar.



EX: Na interação da partícula alfa com o ar, perde cerca de 33eV por ionização. Considerando uma partícula com $4,8\text{ MeV}$.

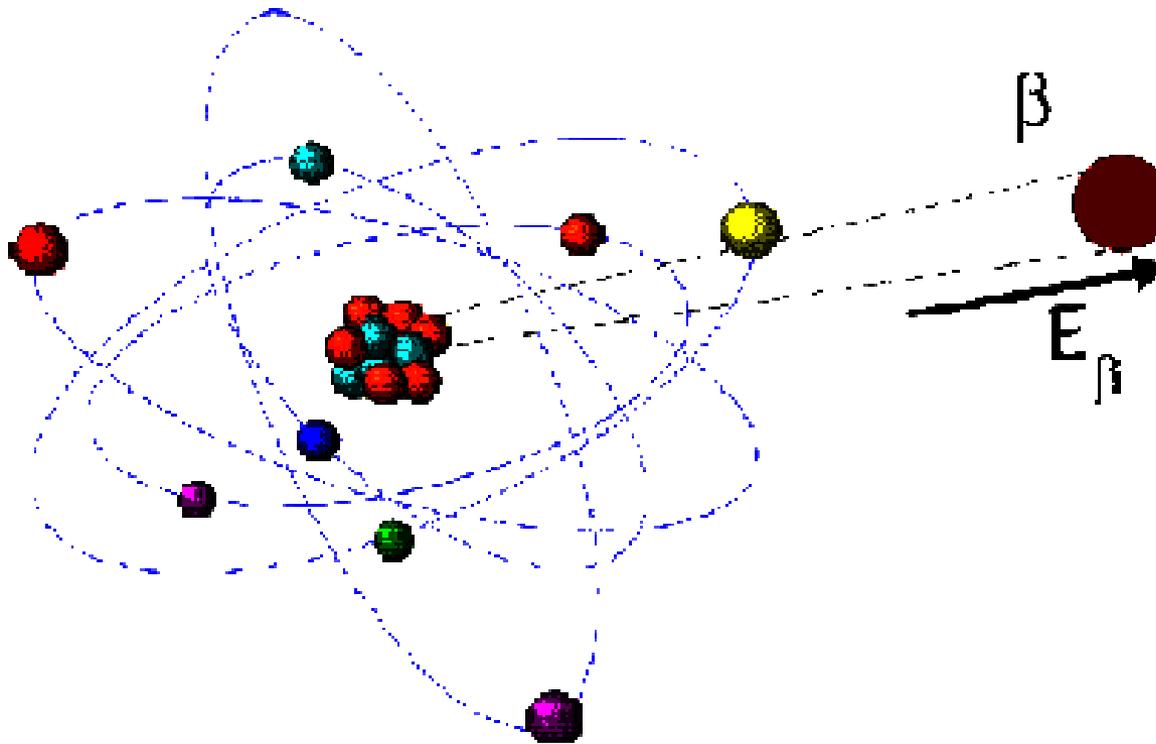
$$\frac{4,8 \times 10^6 \text{ eV}}{33 \text{ eV}} = 145000 \text{ Ionizações}$$

antes de parar.

Estas partículas não tem alcance suficiente para penetrar na pele humana.

1.11 - Radiação Beta (β)

A partícula beta pode ser um elétron ou um pósitron (emitidos pelo núcleo). Estas partículas penetram na pele humana.



1.12 - Radiação Gama (γ)

A radiação gama é uma onda eletromagnética com alto poder de penetração, atravessando até o chumbo.

Elas interagem com a matéria através do efeito fotoelétrico.

Muito usada na medicina no combate ao câncer, pois destrói as células cancerígenas.

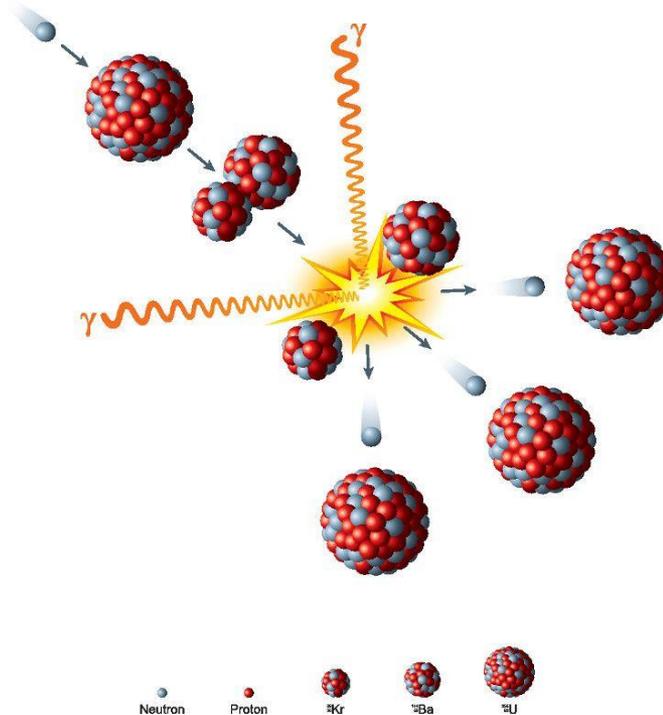
1.13 - Raio X

Trata-se de uma onda eletromagnética porém não tem origem nuclear como as outras já vistas. O raio x tem origem na desexcitação dos elétrons.



1.14 - Nêutrons

Não possuem carga e não causam ionização diretamente. Os nêutrons são muito penetrantes e percorrem grandes distâncias até interagir com os átomos do ambiente transferindo energia para outras partículas carregadas.



Recomendações.

Referente ao nosso livro texto:

Física para ciências biológicas e biomédicas.
Emico Okuno, Iberê Luiz Caldas, Celi Chow. São
Paulo: Haper e Row do Brasil, 1982.

Recomendo além da leitura do capítulo 1;
a resolução dos exercícios:
Capítulo 1, páginas: 11 e 12.

2 – Aplicações das Radiações



Energia Nuclear



Medicina



Conservação dos Alimentos

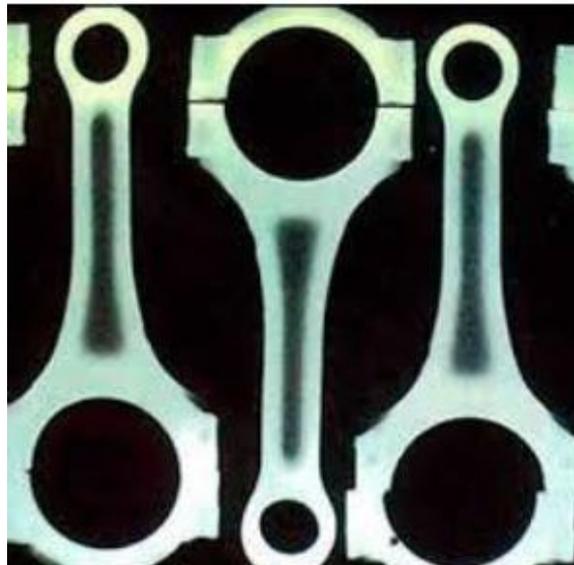
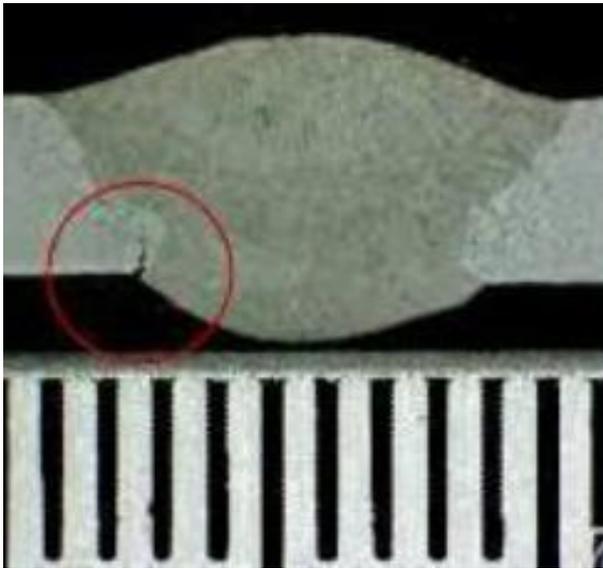


Comunicações

2.1 – Aplicação das Radiações na Indústria

2.1.1 – Radiografias e gamo grafias.

Analise não destrutiva de descontinuidades e heterogeneidade da matéria. Que são a análise de soldas, partes de navios, partes de aviões etc.



2.1 – Aplicação das Radiações na Indústria

2.1.2 – Medida de vazamento.

Uma pequena quantidade de radioisótopo é adicionada ao fluxo de um fluído, um detector de radiação pode medir qualquer vazamento por meio da radiação, mesmo que seja invisível.

2.1.3 – Medida de espessura ou de densidade.

Uma quantidade de radiação é emitida sobre o material a qual é atravessada ou espalhada. Um detector informa sobre a espessura ou densidade do material baseado na radiação lida.

2.1 – Aplicação das Radiações na Indústria

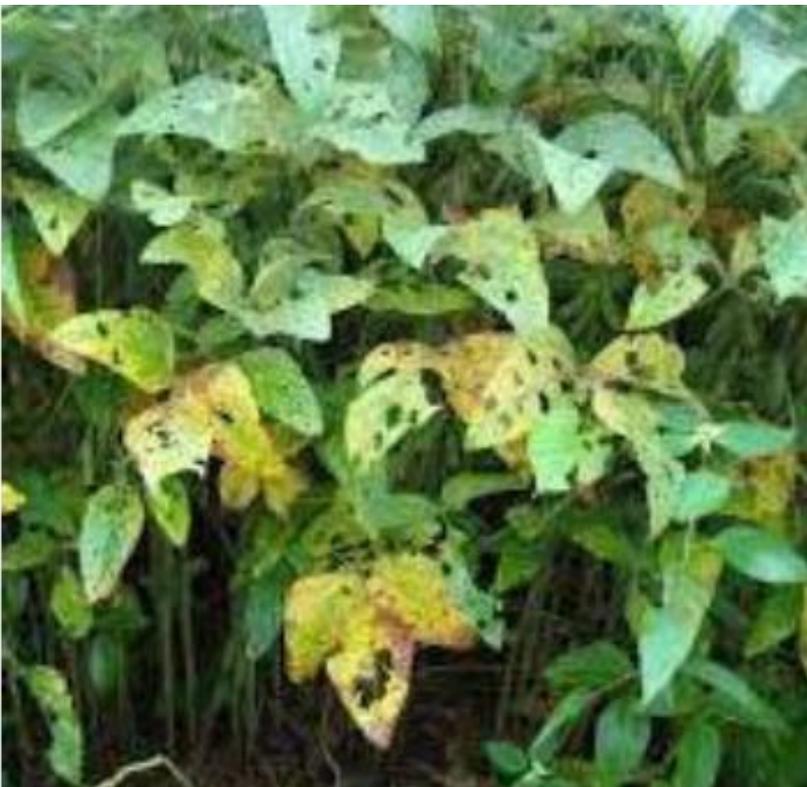
2.1.4 – Conservação de alimentos.

A emissão de radiação nos alimentos sem torná-lo radioativo, pode:

- 1- Evitar broto de certos tubérculos;
- 2- Matar bactérias;
- 3- Eliminar insetos antes do armazenamento.

2.2 – Aplicação das Radiações na Agricultura

Basicamente está na aplicação para a resolução de problemas na produção de alimentos.



2.3 – Aplicação das Radiações em Outras Áreas

2.3.1 – Análise por ativação de nêutrons;

2.3.2 – Estudo da poluição do ar;

2.3.3 – Coloração de cristais por radiação;

2.3.4 – Datação por meio da radiação.

3 – Proteção Radiológica

Tornou-se necessário para evitar danos biológicos causados pela exposição à radiação.

Internacionalmente foram criadas:

(ICRP): International Commission on Radiological Protection;

(ICRU): International Commission on Radiation Units and Measurements;

No Brasil:

(CNEN): Comissão Nacional de Energia Nuclear.

3.1 – Exposição (X)

Os raios X ou gama, ao interagir com o meio produzem elétrons ou pares de elétron-pósitron. A exposição pode ser medida pela equação abaixo, tendo o ar como meio.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

X = Exposição

ΔQ = Soma das cargas de todos os íons de mesmo sinal produzidos no ar.

Δm = Massa do volume de ar exposto.

A unidade de exposição é o Roentgen (R)

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} \frac{C}{kg}$$

3.2 – Dose Absorvida (D)

Trata-se da energia absorvida (E) da radiação pela massa (m) do absorvedor. Torna-se necessária uma vez que, apenas as ionizações do ar não são suficientes para descrever a energia absorvida por um objeto.

$$D = \frac{E}{m}$$

D = Dose Absorvida.

E = Energia Absorvida.

m = Massa do objeto.

A unidade de exposição é o gray (Gy).

$$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

8º Problema:

Injeta-se intravenosamente mercúrio-197 que emite radiação gama em um paciente com 74 kg. Calcule a dose absorvida pelo paciente em rad e em Gy, se a energia total absorvida pelo organismo do paciente for $7,4 \times 10^{-2} J$.

3.3 – Dose Equivalente (H)

As modificações biológicas provenientes de uma radiação dependem não somente da energia absorvida mas também do tipo de radiação e da distribuição da energia absorvida. A dose equivalente leva em consideração estes fatores. $H = D.Q.N$ Unidade é o Sievert (Sv).

H = Dose Equivalente.

D = Dose Absorvida.

Q = Fator de Qualidade. Quantidade de ionizações por unidade de tempo.

N = Fator de Modificação. Produto dos demais fatores de modificação que ainda é muito complicada, por isso a ICRP fixou valor de $N = 1$.

Para radiações X, gama e elétrons em tecidos moles a dose de absorção é igual a de exposição. 1 Roentegem = 1 Gray = 1 Sievert.

9º Problema:

Uma pessoa ingere uma pequena quantidade de trítio que emite radiação beta de 18 keV. A dose média absorvida pelo traço gastrointestinal é de 500 mrad. Determine a dose equivalente em rem e em Sv.

3.4 – Limites Máximos Permissíveis (LMP)

São os valores máximos de exposição à radiação, recomendados pelo (ICRP) e (CNEN).

Para trabalhadores: 50 mSv.

Para outros indivíduos: 5 mSv.

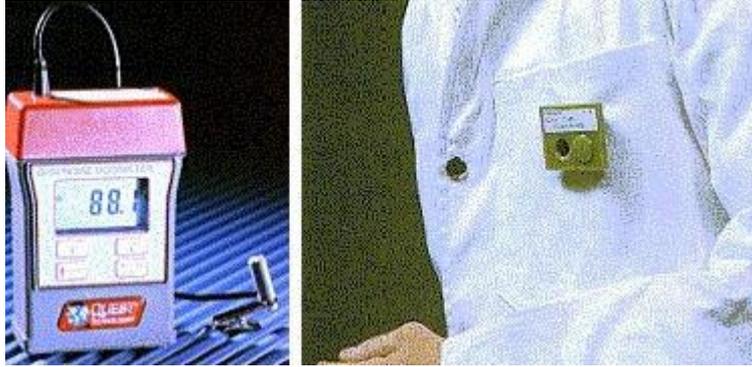
Excluindo a radiação natural e exposição médica.

10º Problema:

Determine a dose equivalente máxima permissível por hora para um trabalhador com radiação.

3.5 – Precauções

Devem ser tomadas para evitar a contaminação interna e externa ao organismo.



Monitoramento no Trabalho

Roupas adequadas, mascarar e luvas



EPI com blindagem

3.5.1 – Precauções quanto à exposição (X)

A redução da exposição está relacionada a precauções quanto a três fatores: **Blindagem, tempo de exposição e distância da fonte.**

$$X = \frac{kt^2}{d^2}$$

X = Exposição;

k = Constante que depende do tipo de radiação;

t = Tempo de Exposição;

d = distância da fonte radioativa.

11º Problema:

A taxa de dose equivalente para um trabalhador com radiação gama é de 0,15 rem/h, a 1 m da fonte. Sabendo-se que a máxima taxa de dose equivalente permissível para esse trabalhador é de 2,5 mrem/h, a que distância ele pode permanecer?

Recomendações.

Referente ao nosso livro texto:

Física para ciências biológicas e biomédicas.
Emico Okuno, Iberê Luiz Caldas, Celi Chow. São Paulo: Haper e Row do Brasil, 1982.

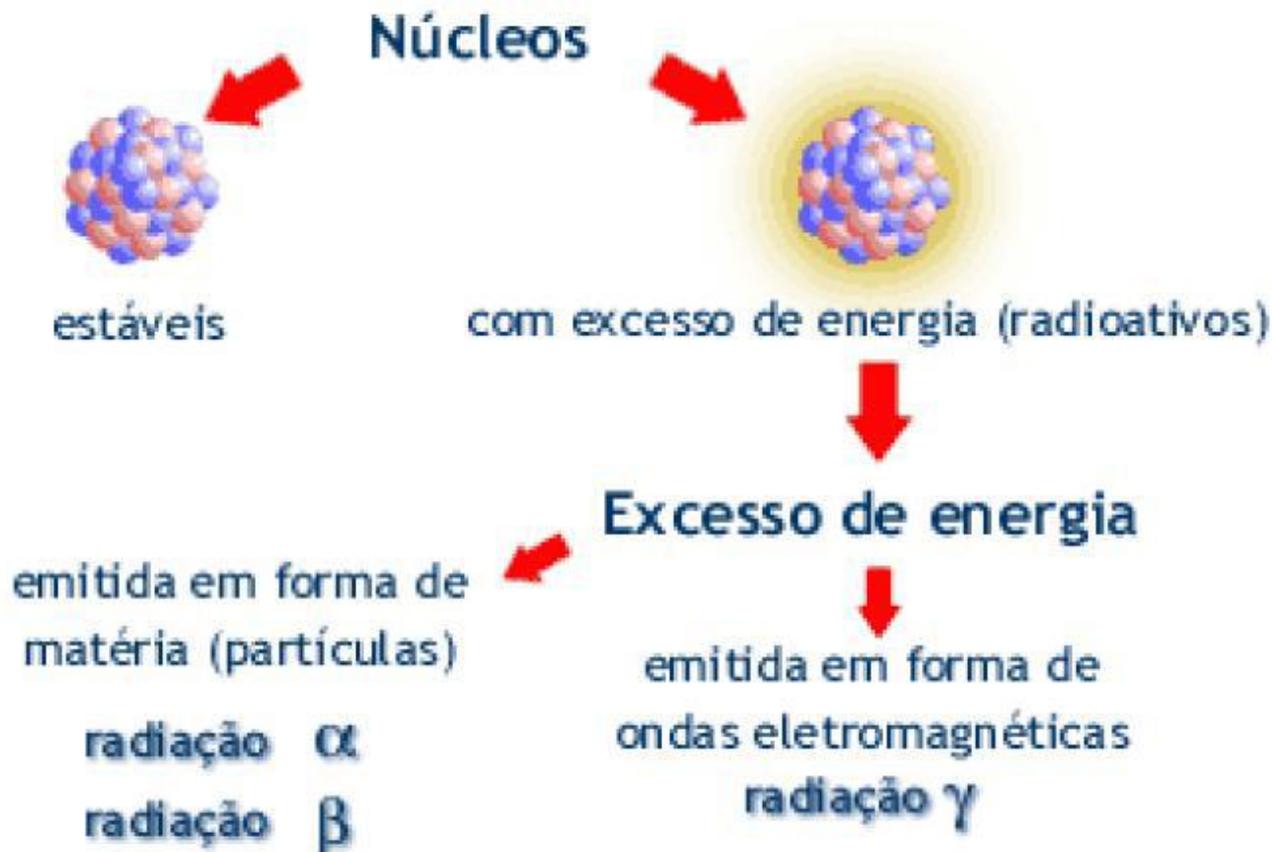
Recomendo além da leitura do capítulo 1 ao 3;
a resolução dos exercícios:

Capítulo 1, páginas: 11 e 12.

Capítulo 3, página: 26.

4 - Decaimento

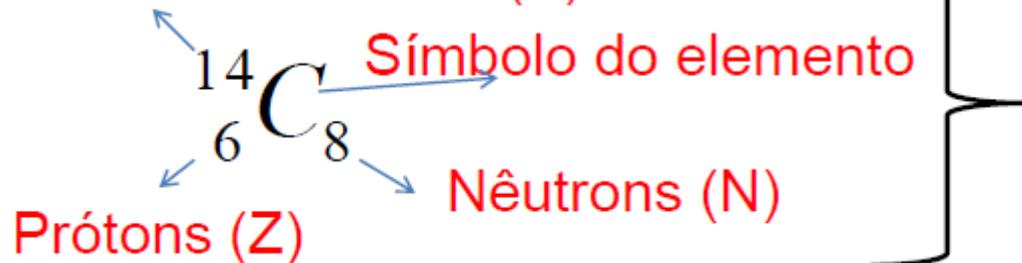
4.1 – Conceito: Um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de cargas, tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas.



4 - Decaimento

4.2 – Representação de um elemento:

Número de massa (A)

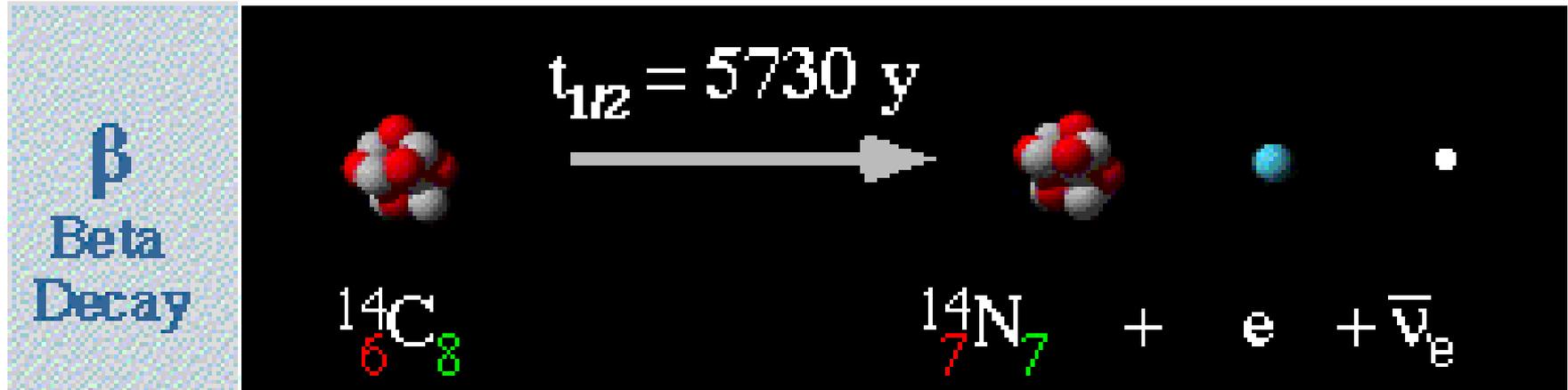
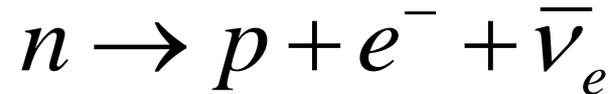


4.3 – Isótopo: Núcleos de um mesmo elemento cujo número de prótons são iguais e número de nêutrons diferentes.

Isótopos estáveis não sofrem decaimento portanto não são radioativos. Ex: ${}^12_6\text{C}_6$, ${}^{13}_6\text{C}_7$

Isótopos instáveis sofrem decaimento, logo são radioativos. Ex: ${}^{11}_6\text{C}_5$, ${}^{14}_6\text{C}_8$, ${}^{15}_6\text{C}_9$

4.4 – Exemplo: Decaimento β^-



Núcleo Pai

Núcleo Filho

Partículas Beta

O núcleo que passa pelo decaimento se transforma em outro elemento.

4.5 – Leis do Decaimento

4.5.1 – Meia Vida: Tempo necessário para que um isótopo reduza sua atividade pela metade.

$$T_{(1/2)} = \frac{\ln 2}{\lambda} \leftarrow \text{Taxa de decaimento do isótopo.}$$

4.5.2 – Vida Média: Tempo necessário para que um isótopo decaia para outro elemento em $1/e$.

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

4.5 – Leis do Decaimento

4.5.3 – Representação matemática do decaimento.

Número de elementos que ainda não se desintegraram.

Número de elementos Inicialmente presentes.

Base dos logaritmos naturais.

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

Tempo.

Constante de desintegração.

4.5 – Leis do Decaimento

4.5.4 – Atividade: Trata-se da velocidade de desintegração dos elementos. É muito útil, pois não existe maneira direta de se determinar a quantidade de átomos numa mostra, exceto pela sua radioatividade. Um equipamento chamado contador Geiger mede diretamente a atividade de uma amostra.

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Atividade de uma amostra
Num dado instante.

Atividade inicial.

Base dos logaritmos
naturais.

Constante de
desintegração.

Tempo.

A unidade no SI é o
Becquerel (Bq)

$$1\text{Bq} = \frac{1\text{desintegração}}{\text{segundo}}$$

12º Problema:

A meia vida de um isótopo radioativo é 6,5 h. Se existirem inicialmente 48×10^{19} átomos desse isótopo, quantos átomos desse isótopo restarão após 26 h?

13º Problema:

Restos de carvão foram encontrados num sítio arqueológicos e mediu-se a radioatividade deste “material morto”: Para 1 Kg deste material, a taxa de decaimento do ^{14}C foi de $9,4 \times 10^2$ decaimentos por segundo. Sabe-se que para um “material vivo” esta taxa é de $1,5 \times 10^4$ decaimentos por segundo. Com estes dados determinar a idade do material encontrado.

5 – Aplicações das Radiações na Biologia

5.1 – Estudo de transporte nas plantas:

Auto radiografia: *Trata-se da utilização de um traçador radioativo. A planta é exposta a um gás radioativo, em seguida a parte a ser analisada é colocada entre filmes de raio x. O isótopo radioativo vai sensibilizar o filme.*

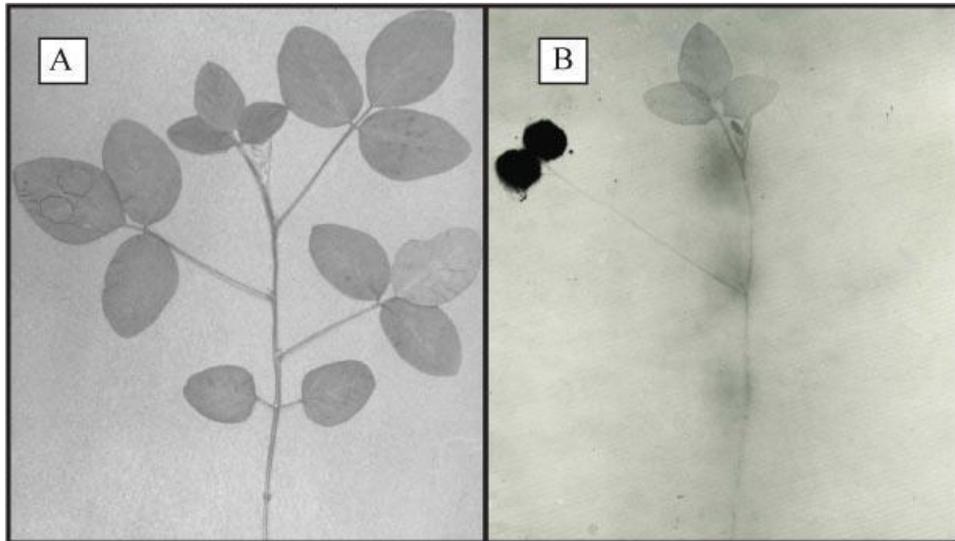


Figura 2. Fotografia (A) e auto-radiografia (B) da distribuição de ^{35}S na parte aérea de uma planta de soja, 48 horas após a aplicação foliar do isótopo. As áreas circulares indicam os sítios de aplicação.

Pesquisa sobre: Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja

5 – Aplicações das Radiações na Biologia

5.2 – Divisão de cromossomos:

Também utiliza-se *traçador radioativo*. Neste caso emprega-se a *timidina marcada com trítio* na cultura da célula e *H-3* é incorporado somente aos cromossomos. Após a divisão celular um filme de raio x é colocado sob o preparo, as imagens dos cromossomos serão obtidas, e a distribuição do trítio pode ser acompanhada mesmo após várias divisões celulares.

Livro: Genética Molecular Humana.

5 – Aplicações das Radiações na Biologia

5.3 – Determinação do volume do fluido de um corpo: *Utiliza-se um traçador radioativo. Como exemplo: Determinação do volume de sangue no corpo humano. Técnica:*

1º - Injeta-se albumina marcada com I-123, este marcador fornecerá 100.000 des./s;

2º - Após 5 a 15 min retira-se 5ml de sangue;

3º - Mede-se o nº de des./s; **Ex: 100 des./s;**

4º - Calcula-se o volume:

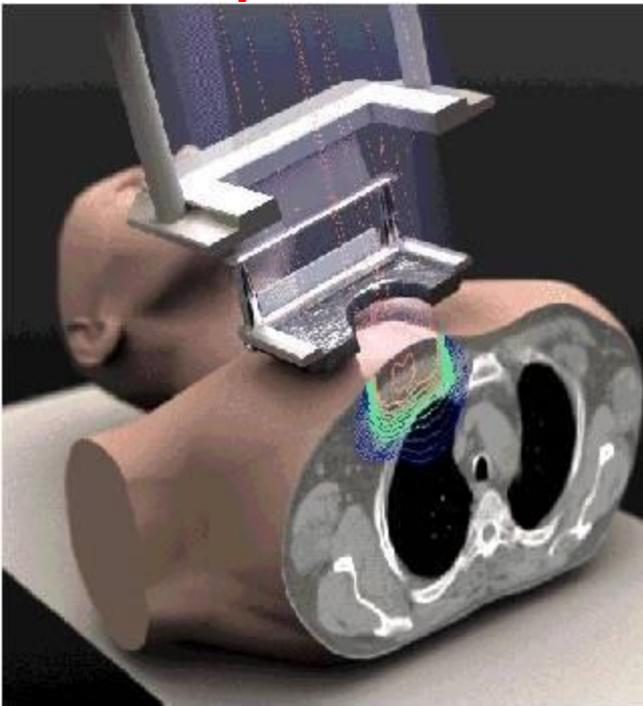
$$5\text{ml} = \frac{10^5 \text{ desintegrações/s}}{10^2 \text{ desintegrações/s}} = 5000 \text{ ml} = 5 \text{ litros}$$

5 – Aplicações das Radiações na Biologia

5.4 – Auto-radiografia alfa de tecidos epiteliais dos brônquios: *Utiliza-se um traçador radioativo. O objetivo desta técnica é encontrar traços de Po-210 e Pb-210, em cadáveres, para comparar as quantidades dos indivíduos que os absorvem pela atmosfera daqueles que absorvem no ambiente de trabalho ou através do fumo.*

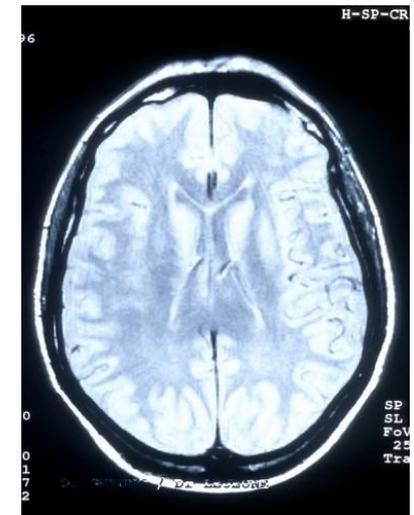
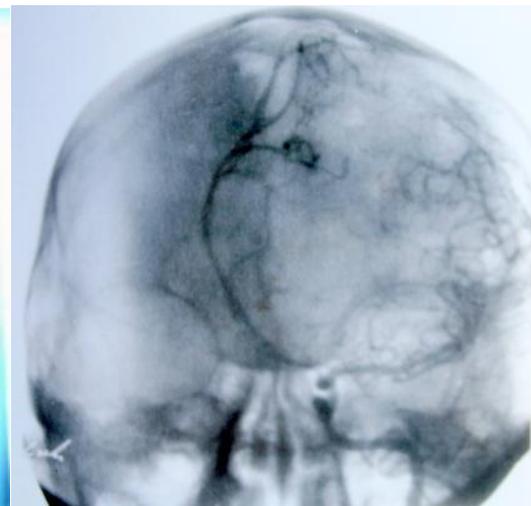
6 – Aplicações das Radiações na Medicina

6.1 – Radioterapia: Assim como a radiação destrói tecidos saudáveis, fazem o mesmo com tecidos doentes. Dessa forma se combate tumores, irradiando as áreas doentes com radiação ionizante na procura de causar o menor dano possível aos tecidos saudáveis vizinhos .



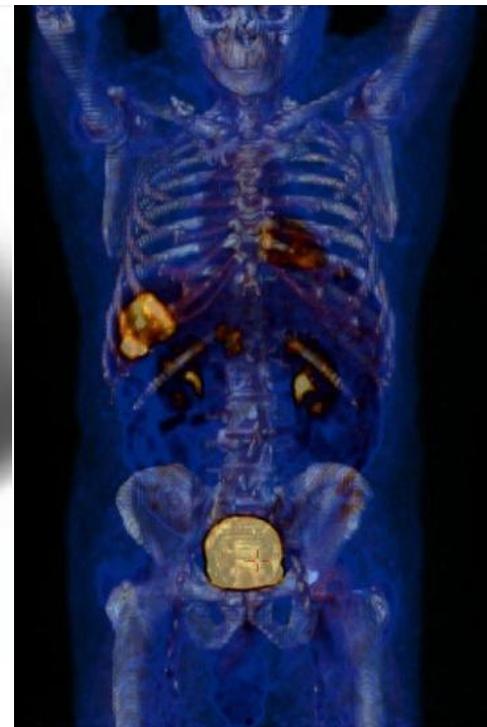
6 – Aplicações das Radiações na Medicina

6.2 – Radiologia Diagnóstica: A absorção do raio x não é a mesma para todas as partes do corpo, devido a sua diferença de densidade e no número atômico médio. Assim a radiografia mostra órgãos em imagens com intensidades diferentes. Alguns órgãos são destacados por meio de um contraste. Ex: Iodo para obter imagens de artérias.



6 – Aplicações das Radiações na Medicina

6.3 – Medicina Nuclear: **Aplica** materiais radioativos e técnicas de Física Nuclear para diagnose, tratamento e estudo de doenças.



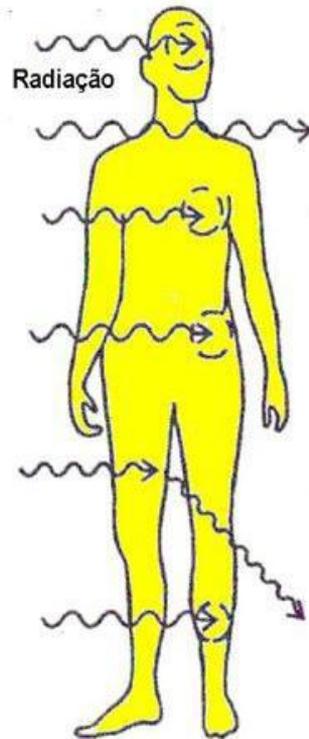
7 – Efeitos Biológicos das Radiações

Depende basicamente:

- da dose absorvida (alta/baixa);
- da taxa de exposição (crônica/aguda)
- e da forma da exposição (corpo inteiro/localizada). Se manifestam a curto e a

A curto prazo ou agudos

náuseas
vômito
perda de apetite
perda de peso
febre
hemorragias dispersas
queda de cabelo
forte diarreia
morte



A longo prazo ou tardios

genéticos
(mutações nas células reprodutoras)
somáticos
(aumento na incidência do câncer,
anormalidade no desenvolvimento do
embrião)

Recomendações.

Referente ao nosso livro texto:

Física para ciências biológicas e biomédicas.
Emico Okuno, Iberê Luiz Caldas, Celi Chow. São Paulo: Haper e Row do Brasil, 1982.

Recomendo além da leitura do capítulo 1 ao 8;
a resolução dos exercícios:

Capítulo 1, páginas: 11 e 12.

Capítulo 3, página: 26.

Capítulo 5, página: 47 e 48.