

Equipamentos de Imagiologia Médica

2021/2022

Teresa Sousa

Aula 5

Imagiologia de emissão

Princípios físicos da medicina nuclear

SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*)

PET (*Positron Emission Tomography*)

Medicina Nuclear

A Medicina Nuclear é uma especialidade médica que envolve o uso de pequenas quantidades de material radioativo (marcadores moleculares - **radiofármacos**) para diagnóstico e terapêutica.

Radiofármaco

- Substância química que possui um elemento radioativo associado (**radioisótopo** ou **radionuclídeo**).
- Constituído também por um vetor fisiológico - molécula orgânica que é reconhecida pelo organismo como similar a alguma substância processada por um órgão ou tecido (ex: glicose).
- Introduzido no corpo do paciente por ingestão, inalação ou injeção.

Radioisótopo ou radionuclídeo

- Átomo que tem excesso de energia nuclear, tornando-o instável.
- O excesso de energia é libertado por **decaimento radioativo**.

Medicina Nuclear

A Medicina Nuclear é uma especialidade médica que envolve o uso de pequenas quantidades de material radioativo (traçadores moleculares - **radiofármacos**) para diagnóstico e terapêutica.

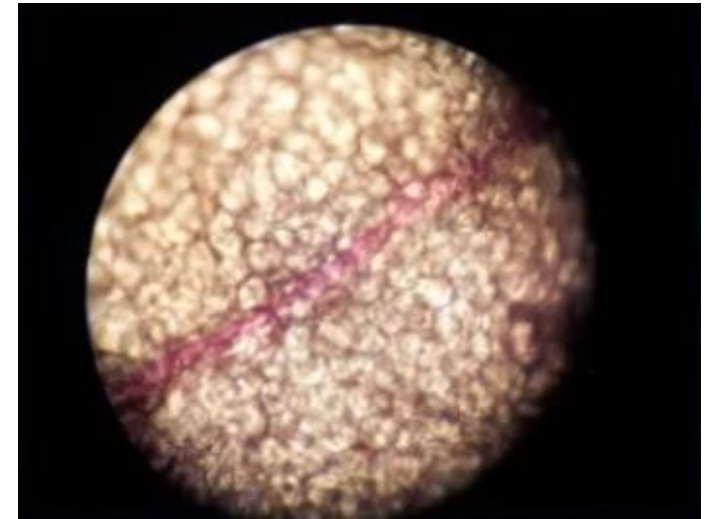
Procedimentos



Imagem



Análise



Terapêutica

Medicina Nuclear: imagem

- Ao contrário das técnicas baseadas em radiação X não produz imagens anatômicas, mas sim funcionais.
- O interesse destas técnicas advém do facto da maioria das condições patológicas serem desencadeadas por alterações químicas ao nível dos tecidos biológicos.
- Com o tempo tais alterações químicas levam a deficiências na função dos órgãos e, eventualmente, a alterações na sua morfologia.
- A molécula marcada vai participar nos processos biológicos para os quais tem afinidade e vai acumular radioatividade nos locais onde esses processos são mais ativos. A imagem traduz a sua distribuição no organismo.



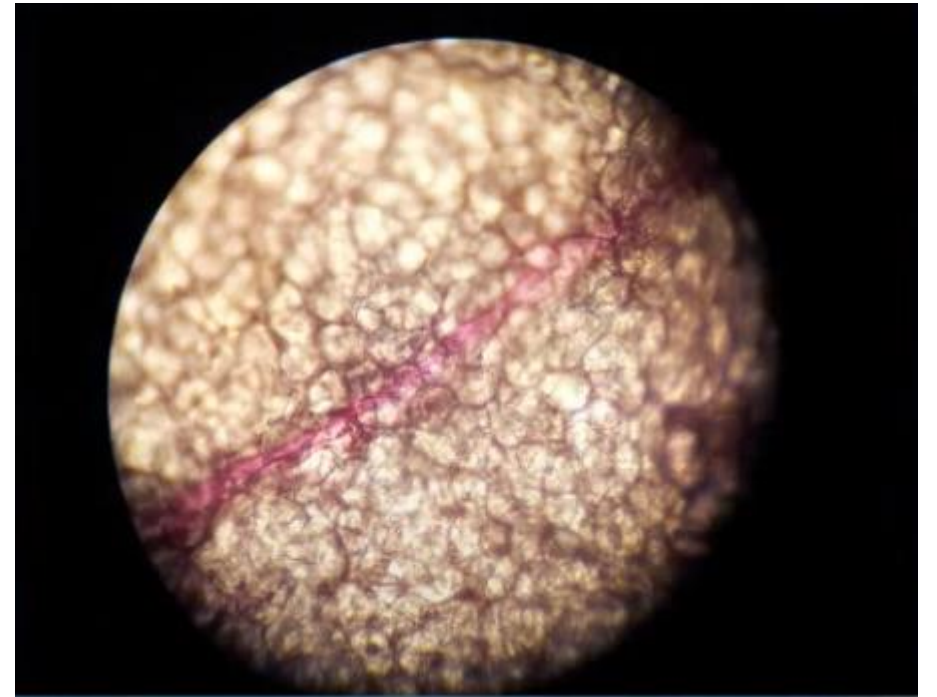
Medicina Nuclear: análise

- São utilizadas amostras biológicas ao invés da câmara de deteção usada nas técnicas de imagem.
- Avalia-se a quantidade de radiação na amostra.
- Utilizado, por exemplo, para estimar o volume de sangue ou plasma.
- A estimativa é feita baseada em marcadores de glóbulos vermelho albumina sérica humana.



Medicina Nuclear: terapêutica

- Usa-se radiação direcionada a uma área específica onde será absorvida.
- A radiação é usada para destruir células cancerígenas e, assim, reduzir o tamanho de um tumor ou impedir a sua propagação.
- Ao serem utilizados marcadores específicos a radiação atinge apenas as células com uma determinada função de interesse, e os danos nos outros tecidos são minimizados.



Da imagiologia de transmissão à imagiologia de
emissão



envato



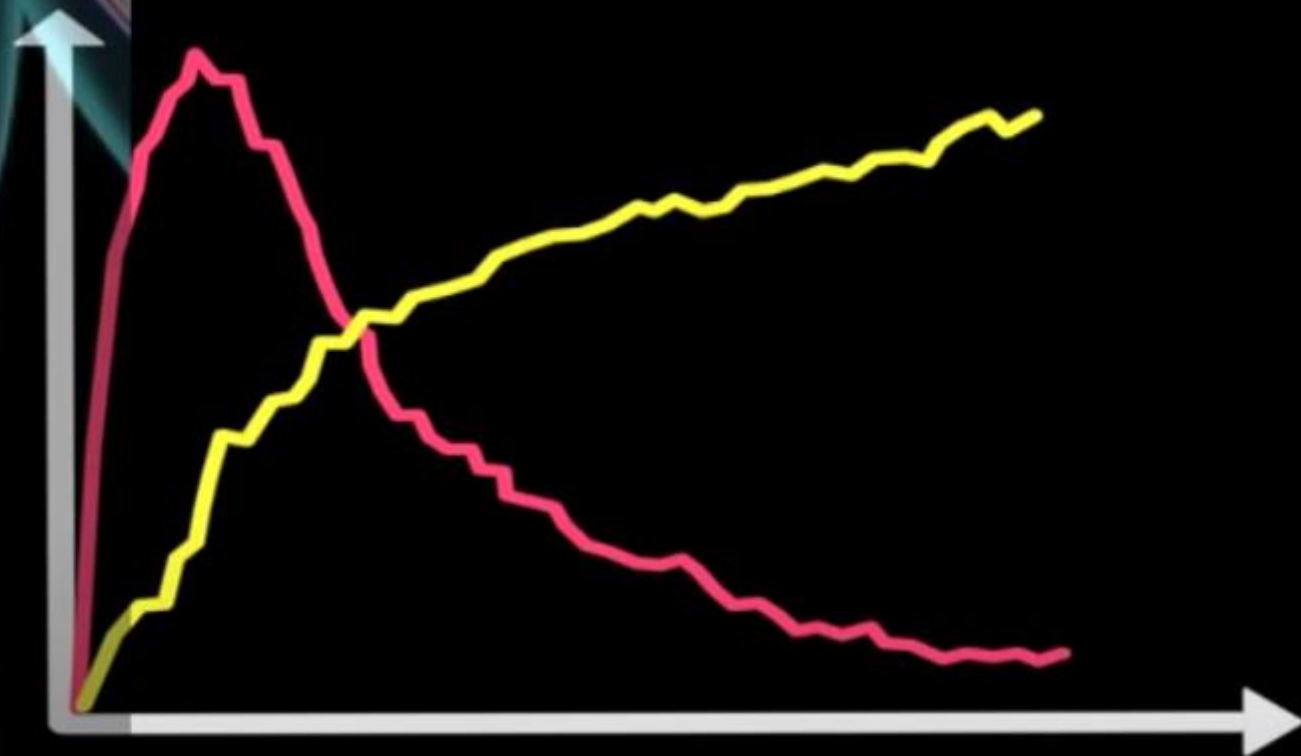
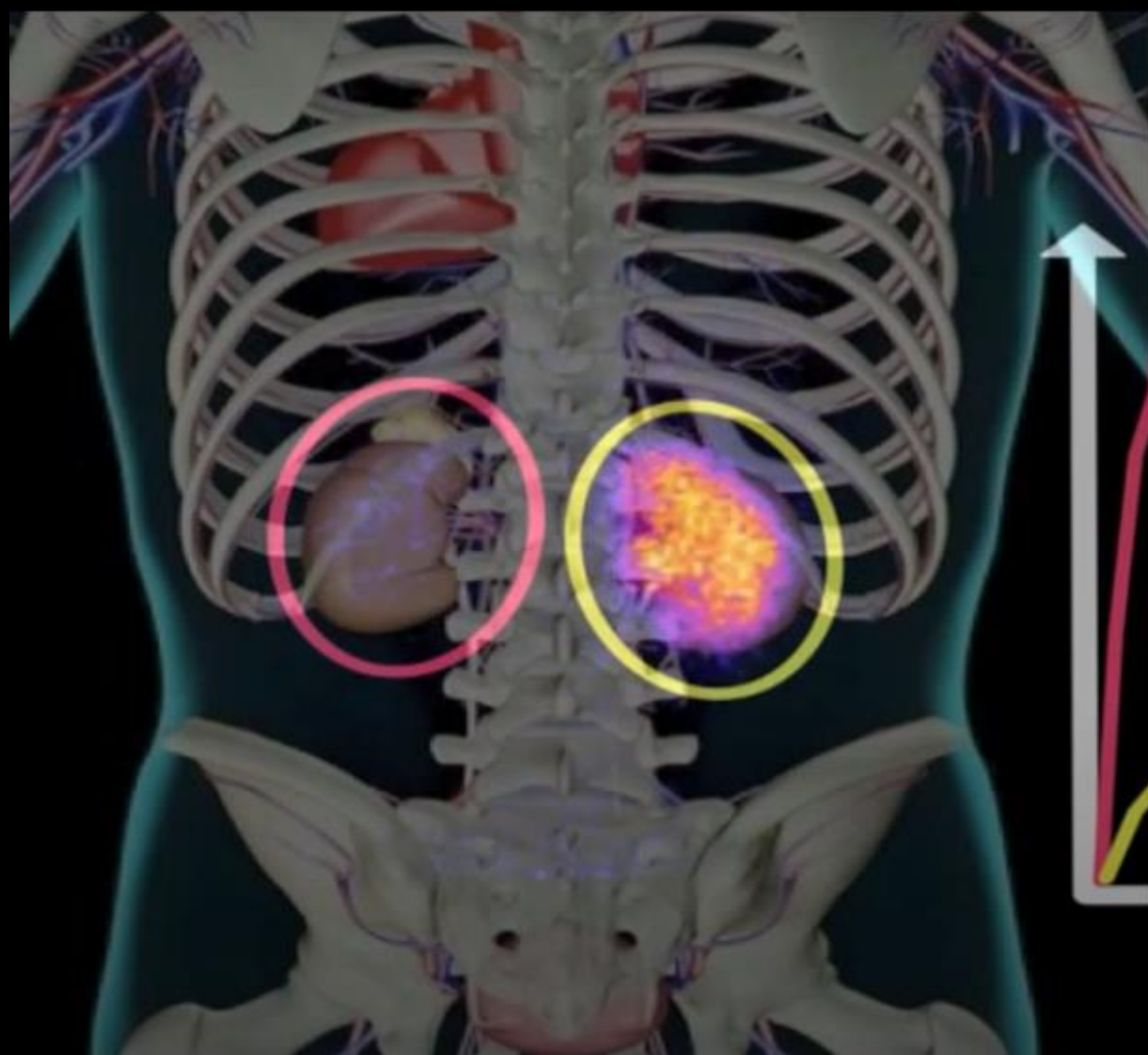
A



B

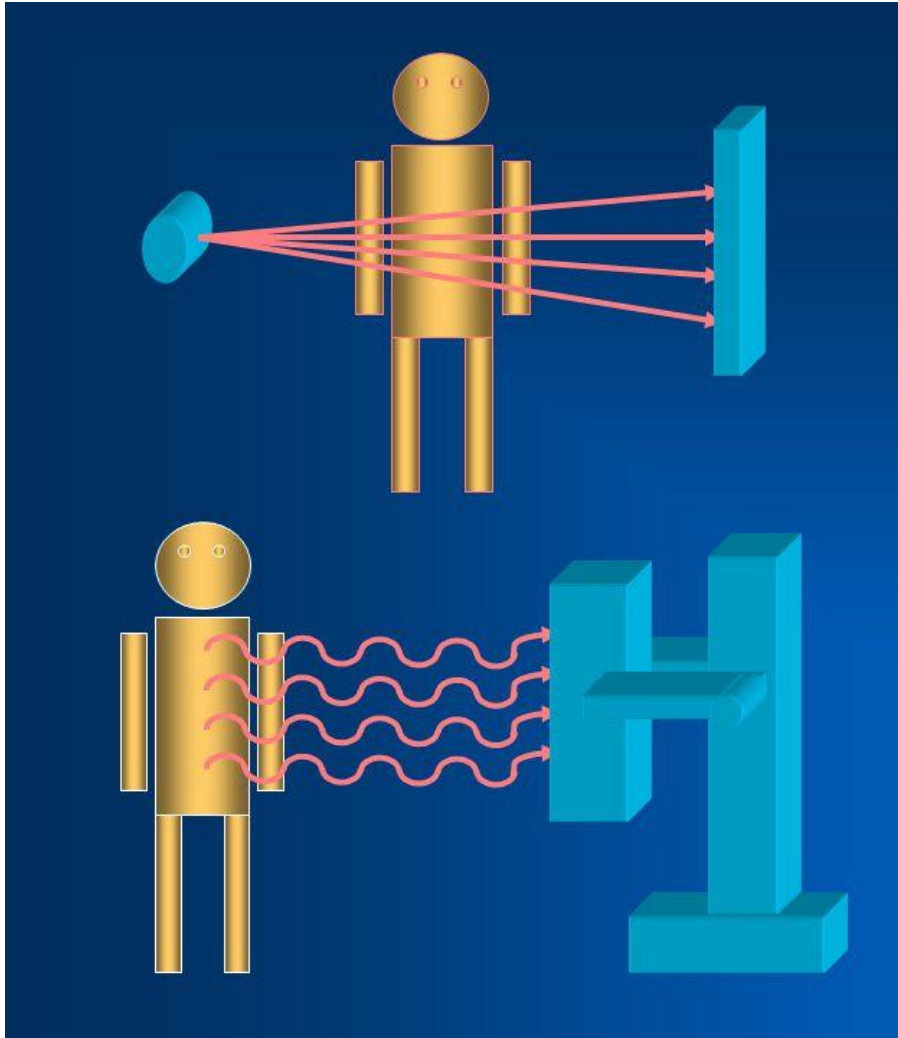


C



Imagiologia com radioisótopos vs. Imagiologia com raios X

Transmissão vs. Emissão



Imagiologia com raios X

- › Imagiologia de transmissão
- › Fonte externa
- › A localização da fonte é conhecida
- › Mede-se a atenuação da radiação no corpo
- › Envolve radiação X

Imagiologia com radioisótopos

- › Imagiologia de emissão (tipo de imagiologia molecular)
- › Fonte interna
- › A localização da fonte é desconhecida
- › Mede-se a distribuição das fontes no corpo
- › Envolve radiação γ – origem nuclear

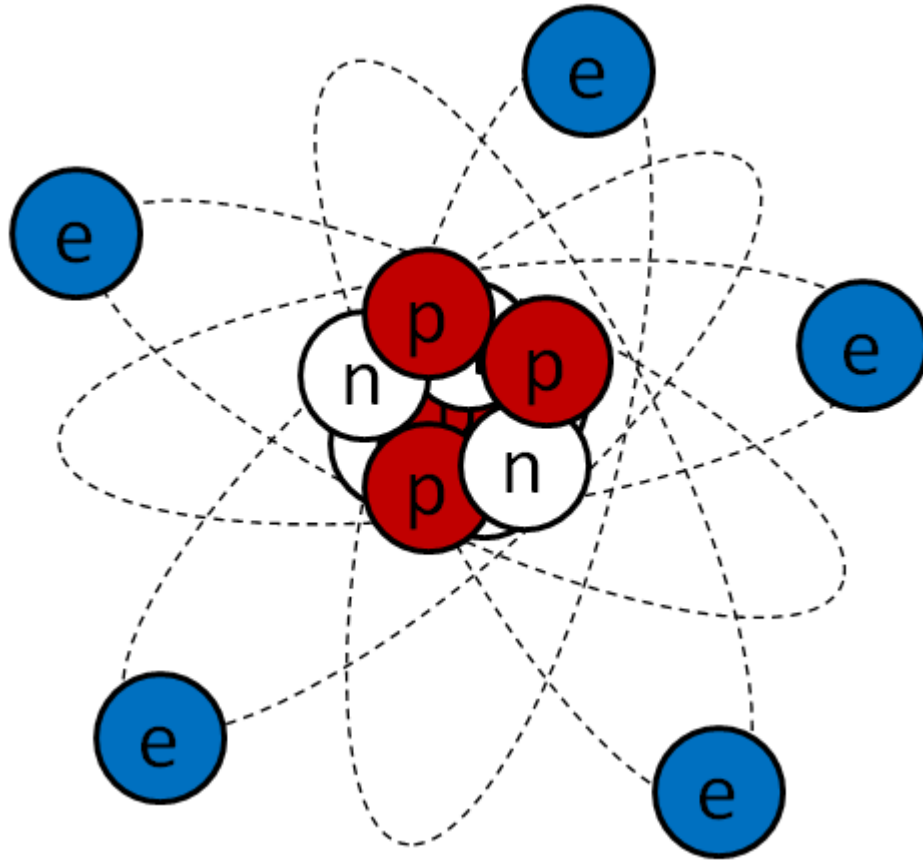
Imagiologia com radioisótopos vs. Imagiologia com raios X

Transmissão vs. Emissão

	Raios X (Radiologia, TAC)	Radioisótopos (cintigrafia, SPECT, PET)
Fonte	Externa	Interna
Energias	80 keV a 140 keV	80 keV a 511 keV
Origem da radiação	Bremsstrahlung	Decaimento dos núcleos
Papel da atenuação (i.e. interacção com o corpo)	É o que produz o sinal	Estraga a imagem
O que mostra a imagem	Atenuação da radiação nos tecidos, i.e. ρ , Z	Distribuição dos isótopos radioactivos no corpo
Poder diagnóstico	Anomalias morfológicas	Anomalias em funcionamento
Resolução espacial	~0.3 mm	~3-5 mm (até ~1 mm em alguns sistemas avançadas de pequenas dimensões)

Átomo

Revisão de conceitos



X Elemento

A Número mássico ($A = p + n$)

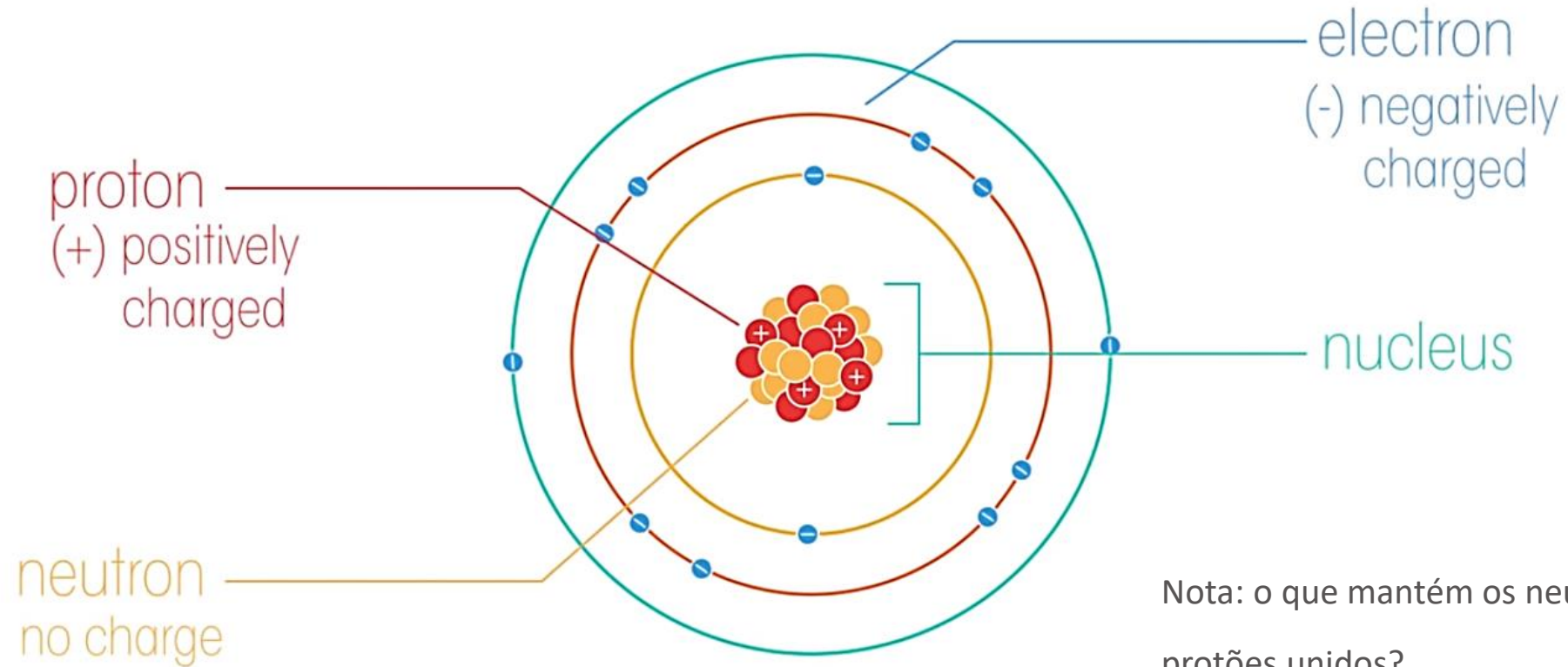
Z Número atómico ($Z = p$)

Isótopos

- › Variantes do mesmo elemento químico com diferentes quantidades de neutrões, pelo que diferem no número mássico
- › Podem ser naturais (presentes normalmente na natureza) ou artificiais (produzidos)
- › Exemplos presentes na natureza: $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$ e $^{14}_6\text{C}$

Átomo

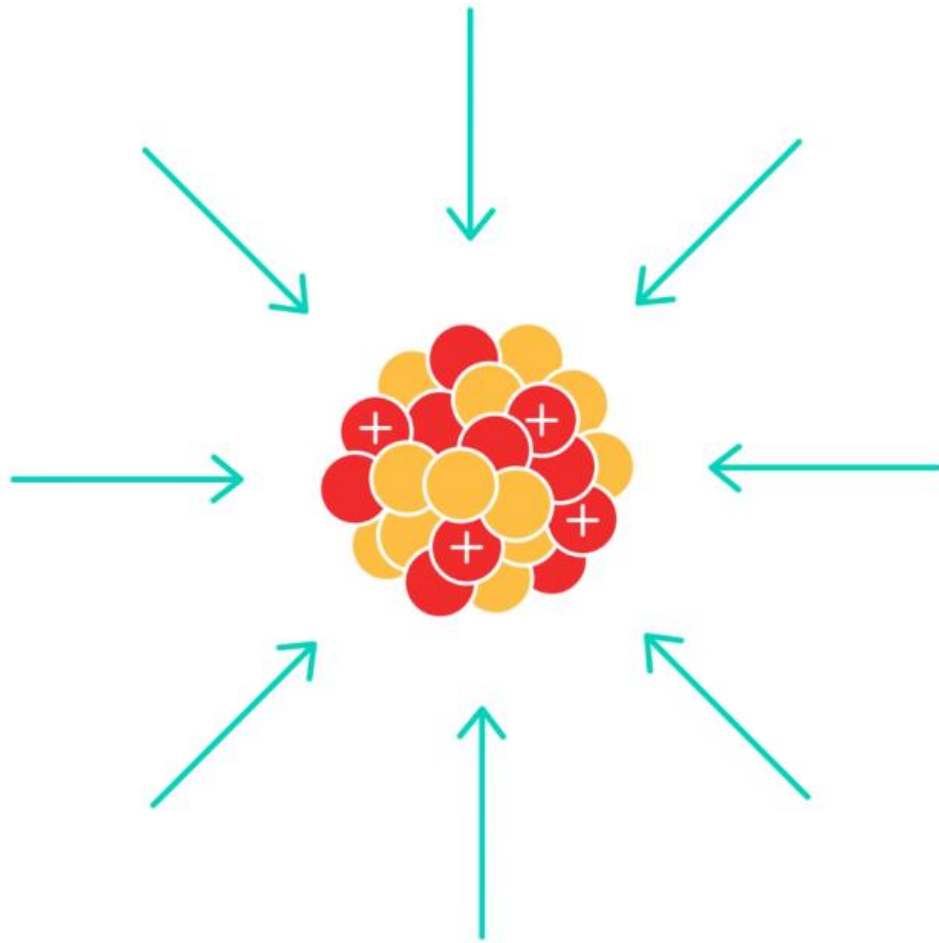
Revisão de conceitos



Nota: o que mantém os neutrões e
protões unidos?

Átomo

Núcleo estável

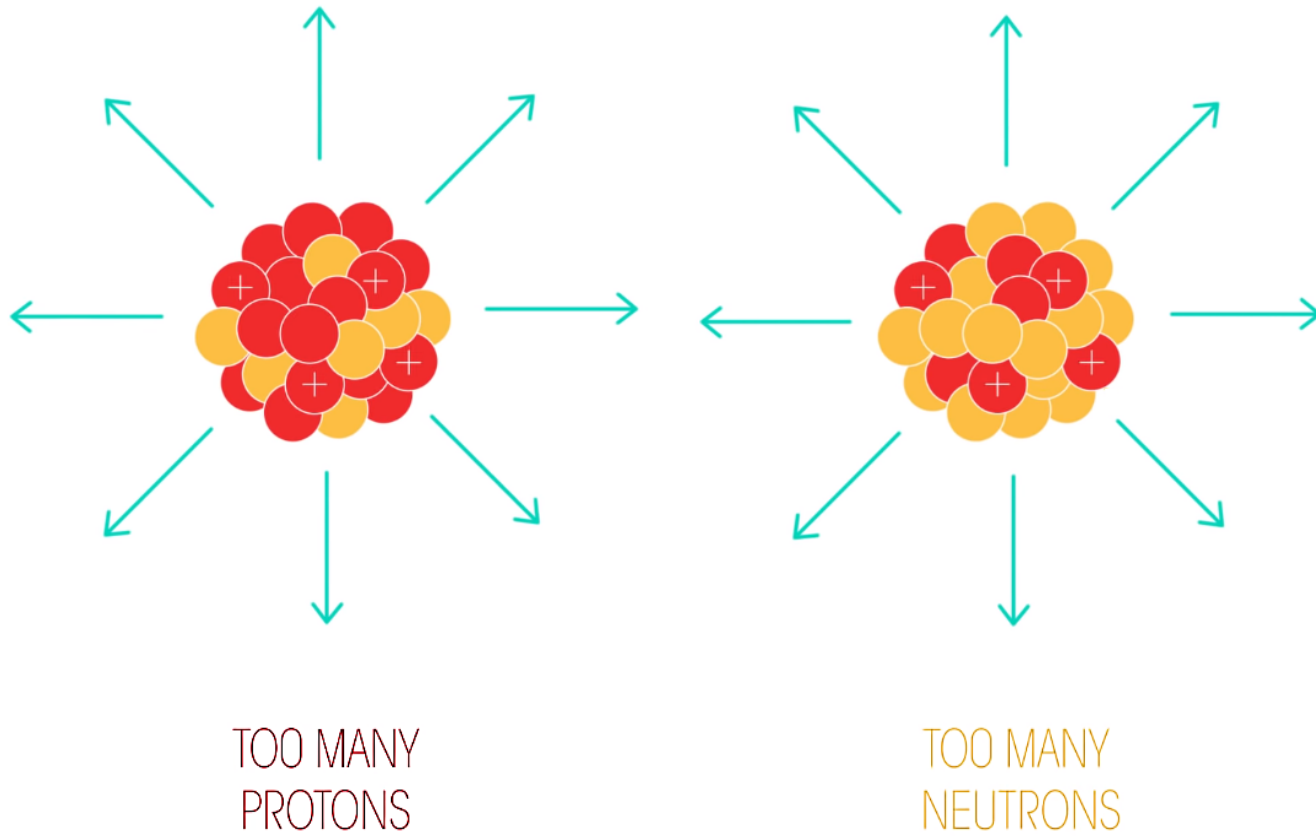


Um núcleo é estável quando a força nuclear forte é suficiente para manter os núclídeos juntos.

Nota: existem quatro forças fundamentais - a gravidade, o eletromagnetismo, a força nuclear forte e a força nuclear fraca.

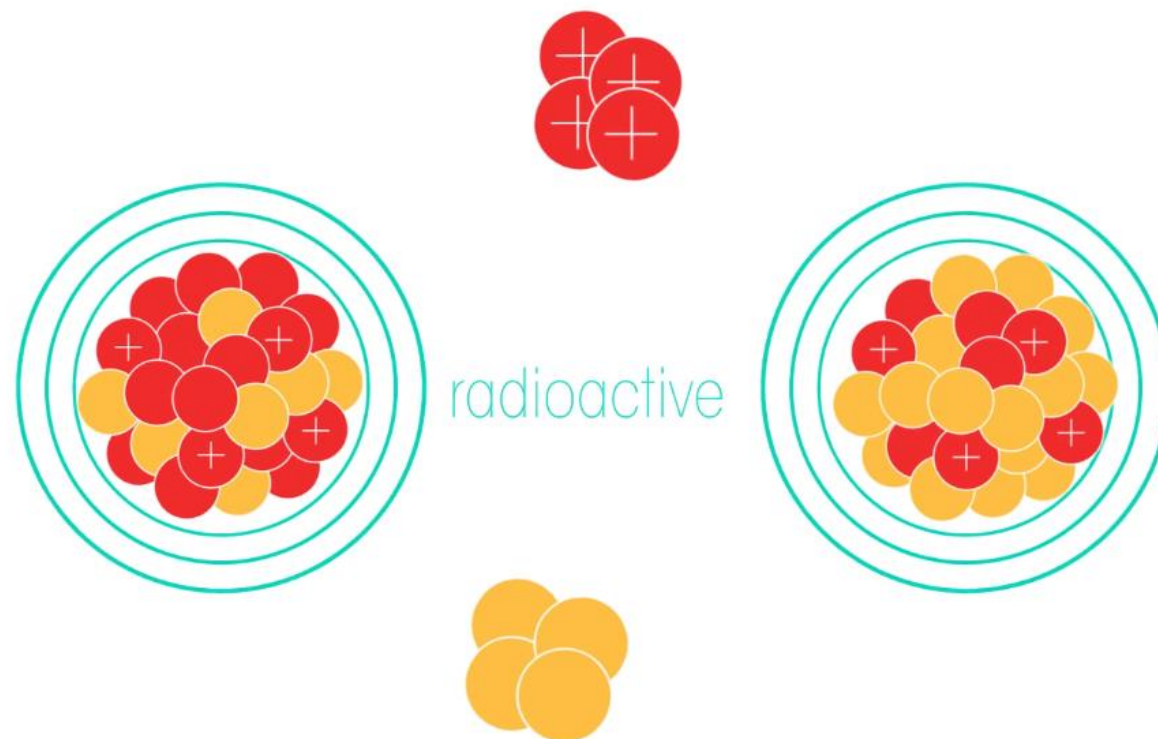
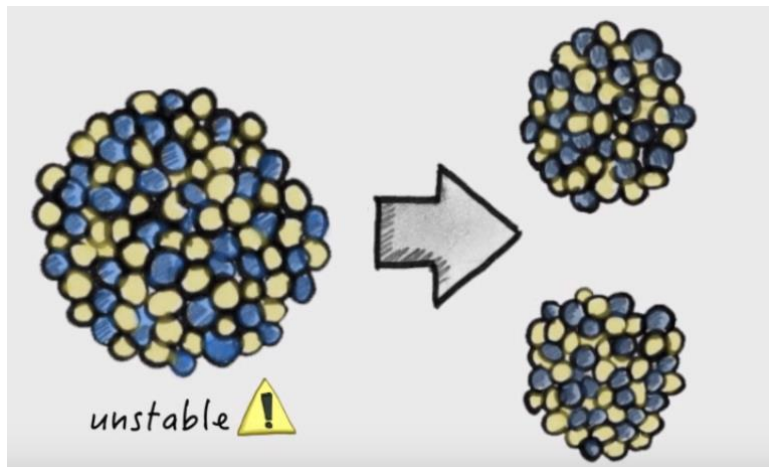
Átomo

Núcleo instável



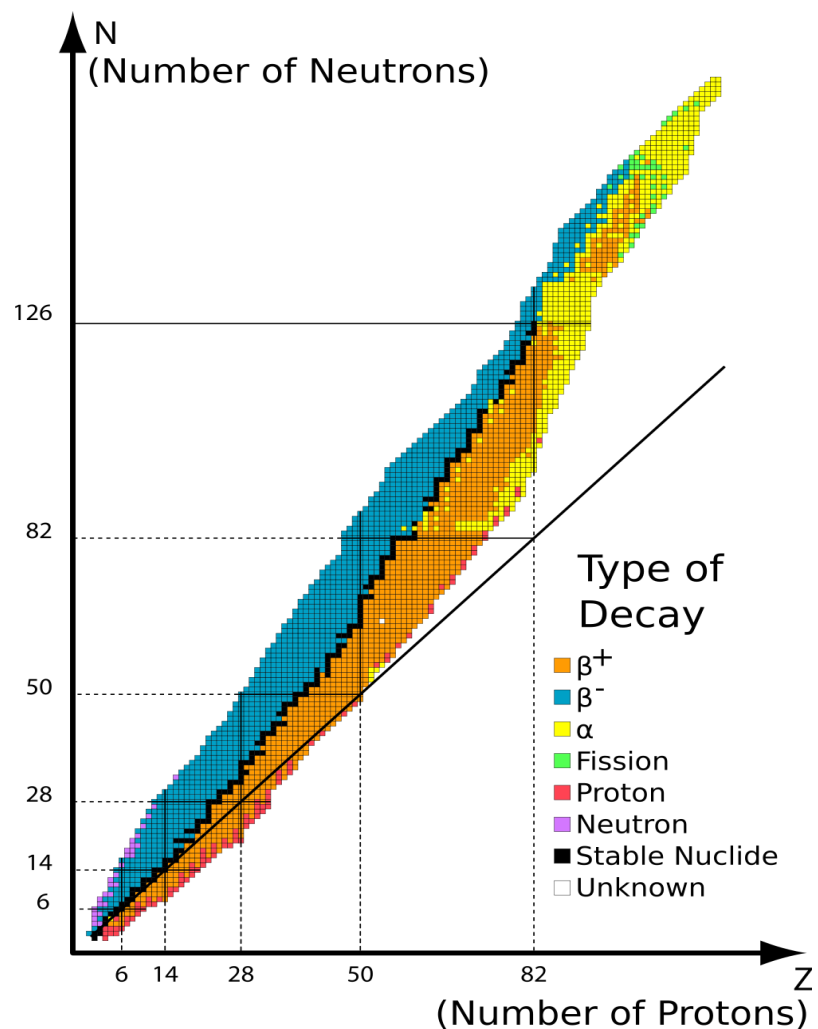
Radioatividade

Emissão de partículas/energia por parte de um núcleo instável ao sofrer um processo de decaimento, a fim de se tornar mais estável.



Radioatividade

Emissão de partículas/energia por parte de um núcleo instável ao sofrer um processo de decaimento, a fim de se tornar mais estável.



A estabilidade nuclear depende da relação entre o número de prótons e neutrões (Z:N).

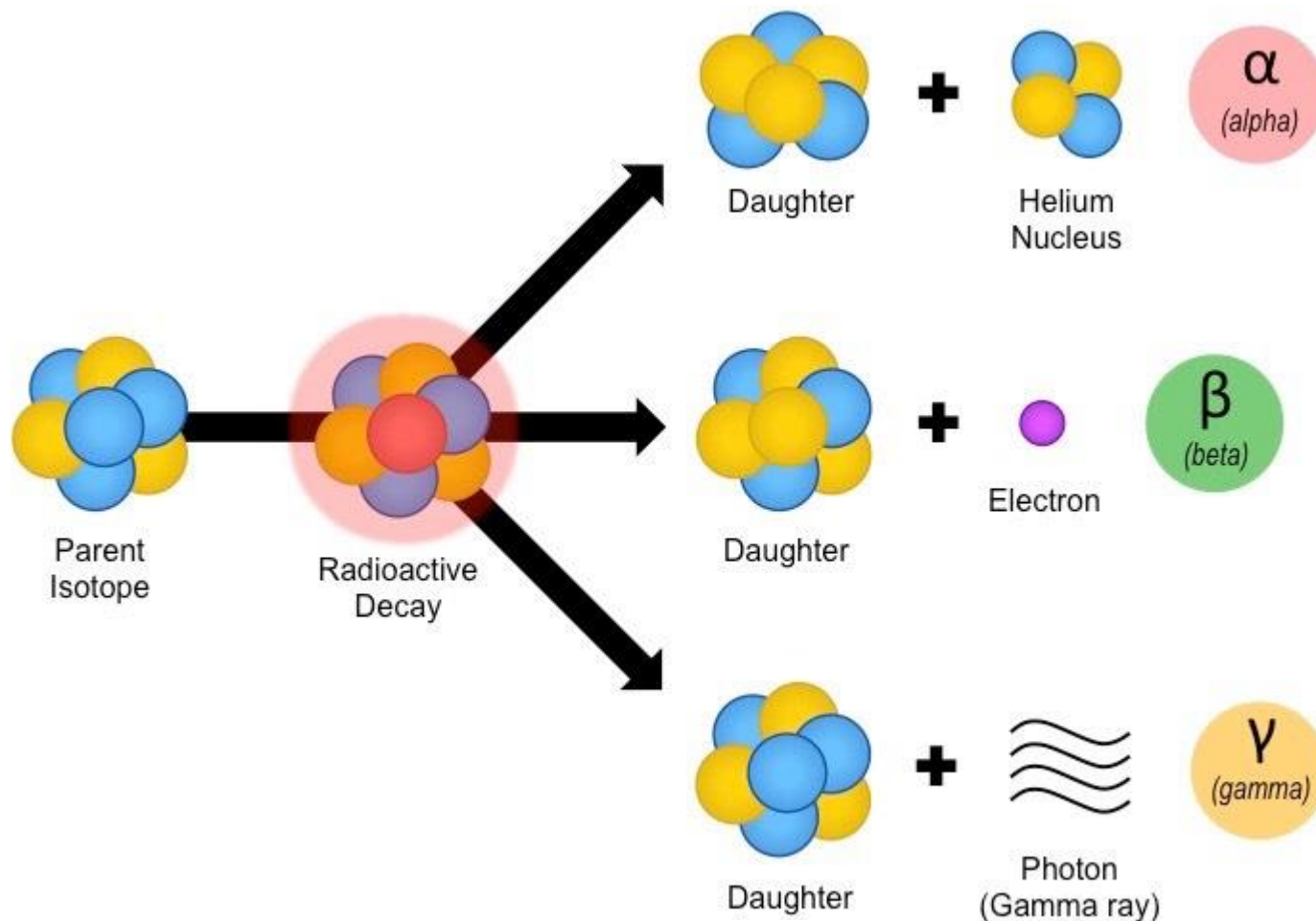
A radioatividade pode ocorrer quando o raio de um núcleo apresenta uma grande dimensão quando comparado com o raio da força forte.

Núcleos estáveis

- › Neutrões \cong Protões (Z pequeno)
- › Neutrões $>$ Protões (Z elevado)

Tipos de decaimento radioativo

α , β e γ



Emissão alfa

- › É emitido um núcleo de hélio: dois prótons e dois nêutrons.

Emissão beta

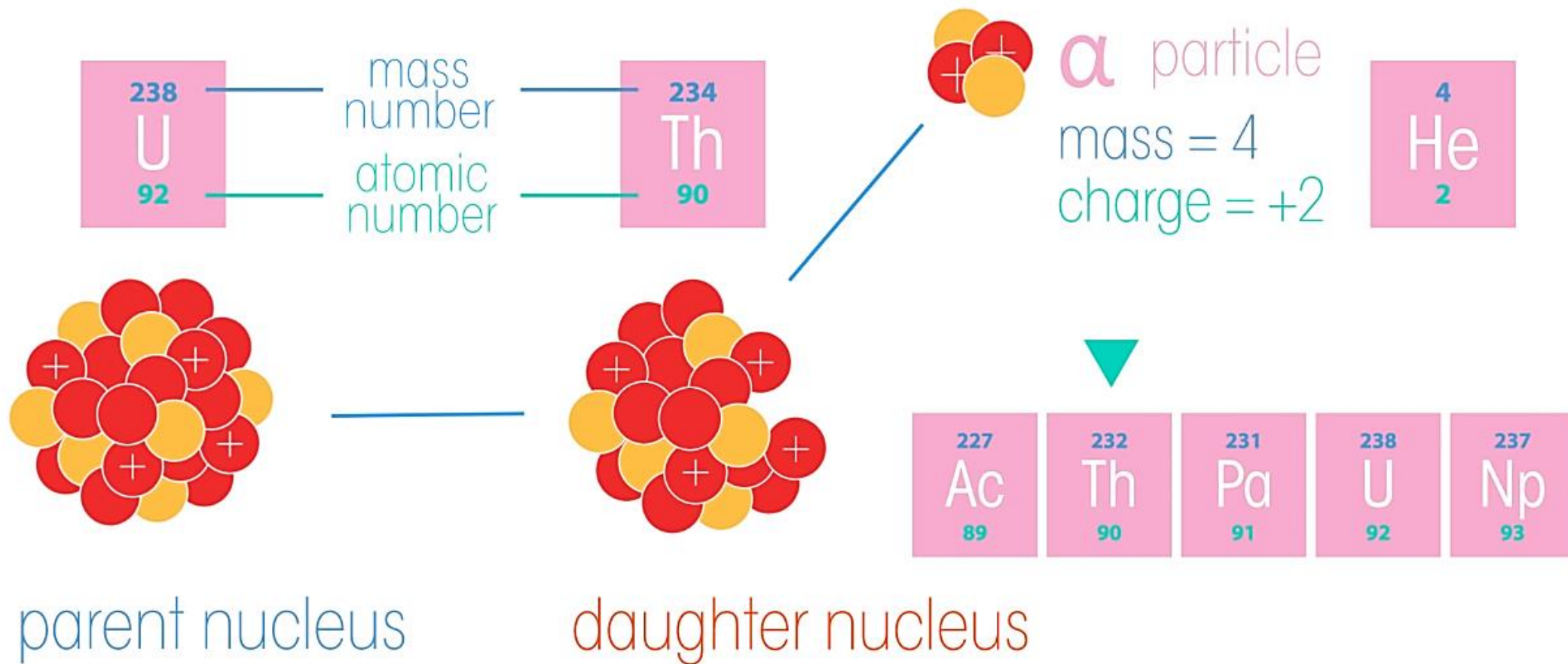
- › Resultado da transformação de um nêutron num próton (emite um elétron e um antineutrino), ou de um próton num nêutron (emite um pósitron e um neutrino).

Emissão gama

- › Alteração do nível de energia do núcleo para um estado inferior, resultando na emissão de um fóton - radiação gama.
- › O estado de excitação de um núcleo que resulte em emissão gama normalmente ocorre após a emissão de partículas alfa ou beta.

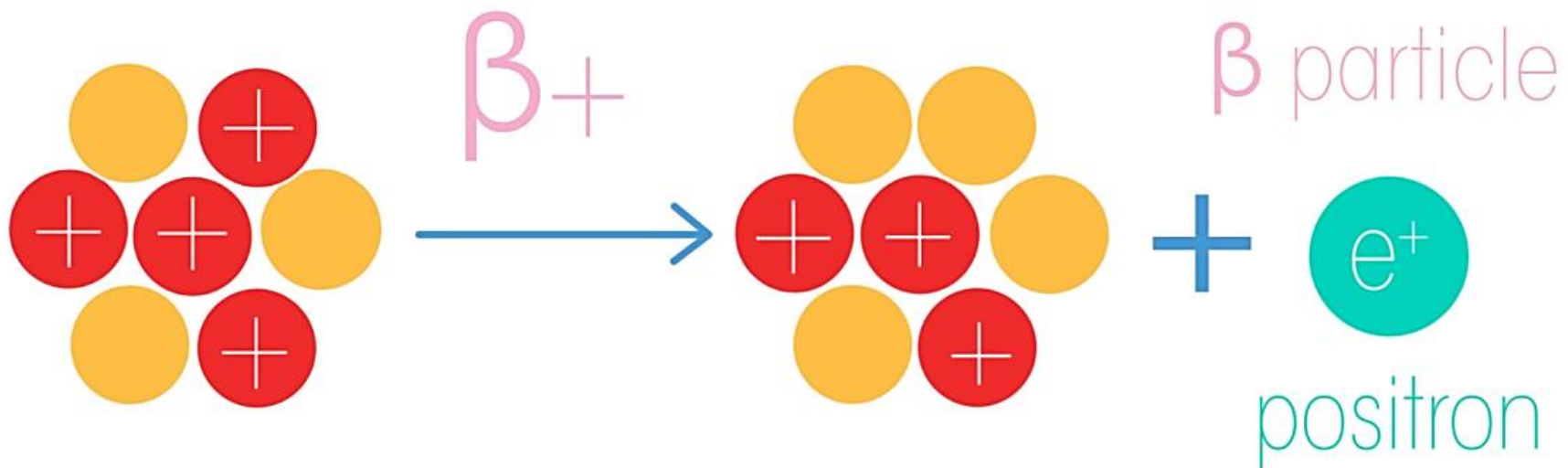
Tipos de decaimento radioativo

Decaimento alfa (α)



Tipos de decaimento radioativo

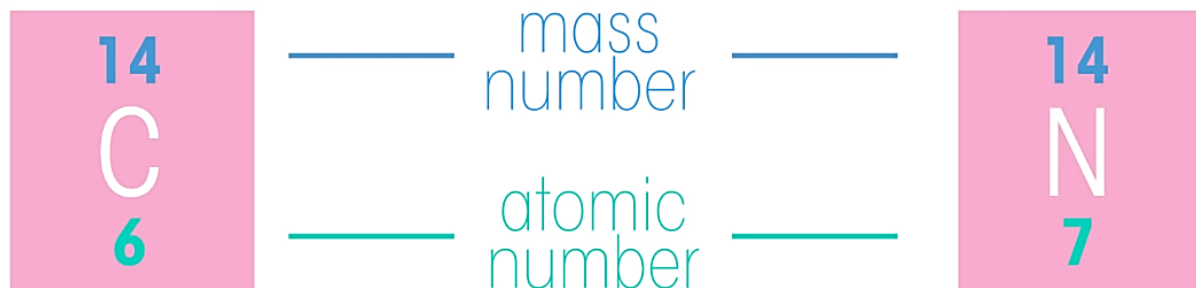
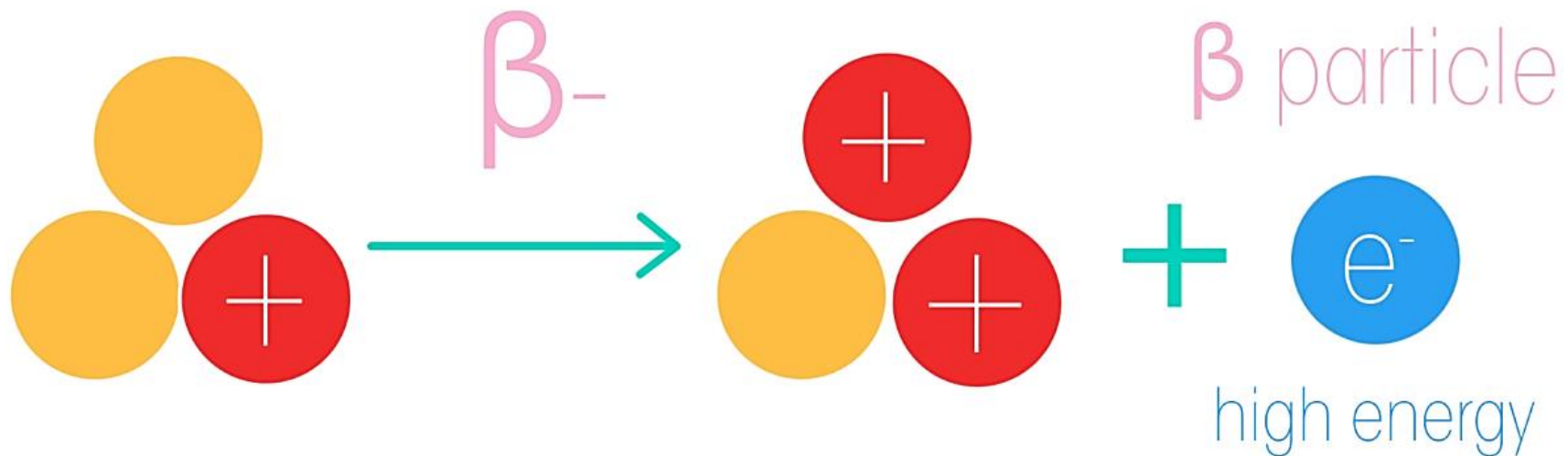
Decaimento beta positivo (β^+): excesso de prótons



Protão \rightarrow Neutrão

Tipos de decaimento radioativo

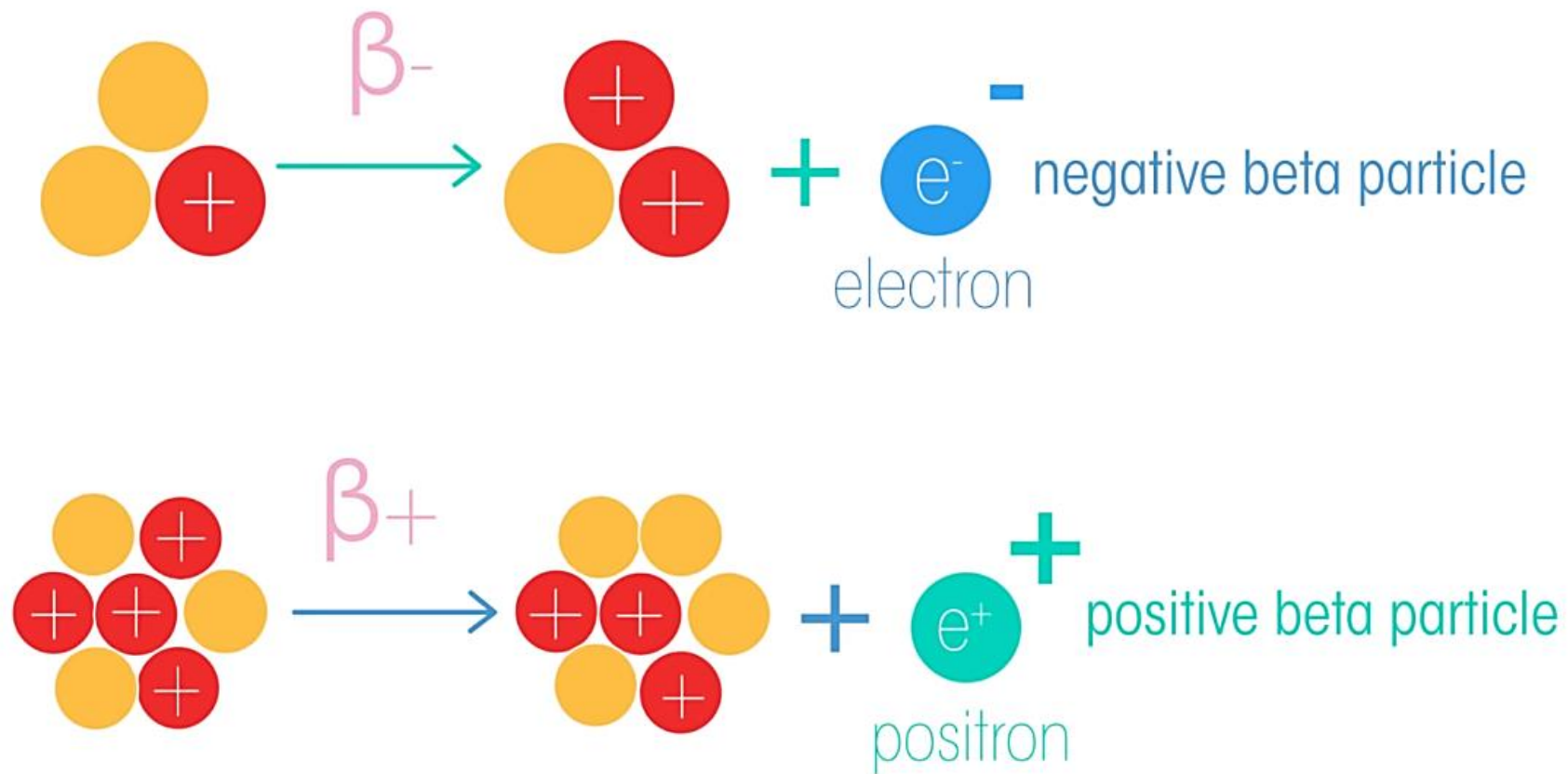
Dcaimento beta negativo (β^-): excesso de neutrões



Neutrão → Protão

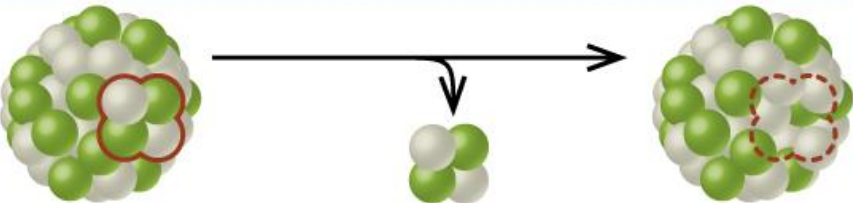
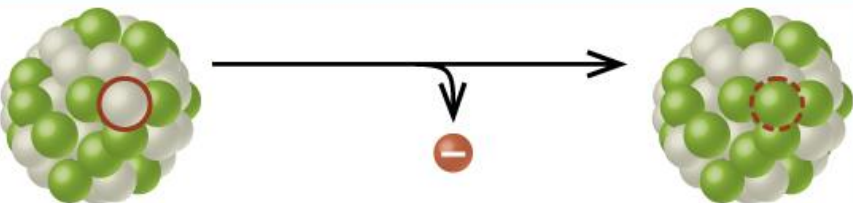
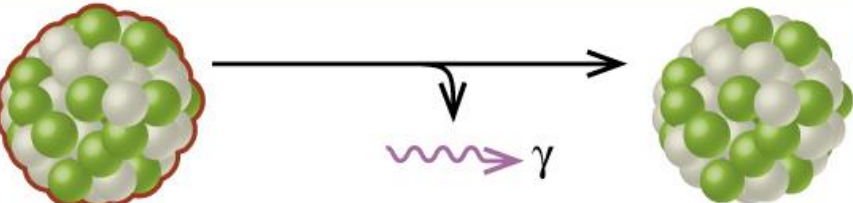
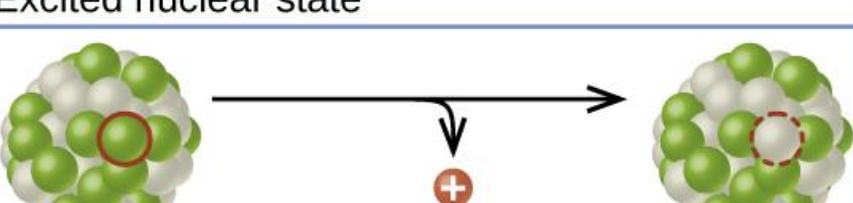
Tipos de decaimento radioativo

Decaimento beta (β)



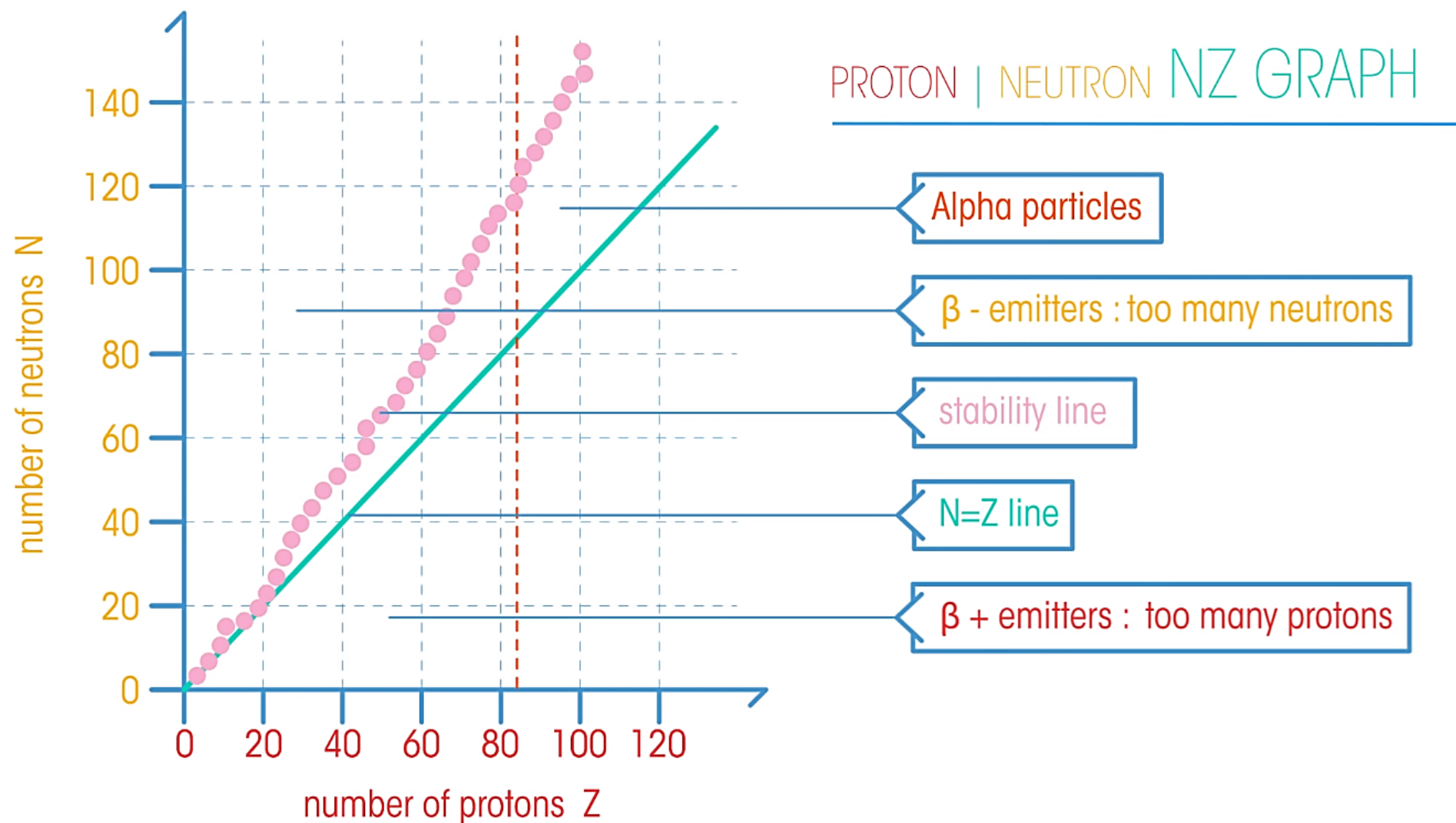
Tipos de decaimento radioativo

α, β e γ

Type	Nuclear equation	Representation	Change in mass/atomic numbers
Alpha decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$		A: decrease by 4 Z: decrease by 2
Beta decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^A_{Z+1}Y$		A: unchanged Z: increase by 1
Gamma decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_0\gamma + {}^A_ZY$	 Excited nuclear state	A: unchanged Z: unchanged
Positron emission	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{+1}e + {}^A_{Z-1}Y$		A: unchanged Z: decrease by 1

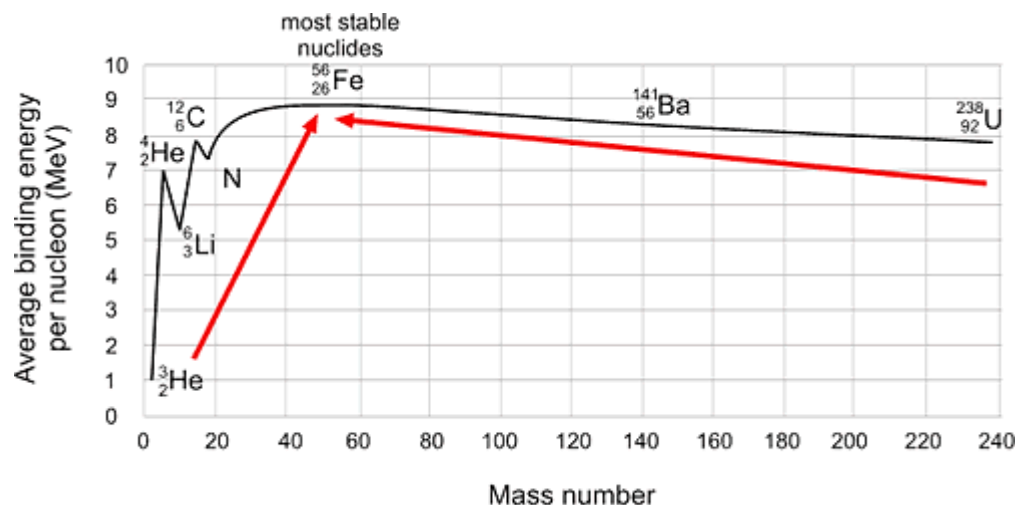
Radioatividade

vs. Relação N/Z



Radioatividade

vs. Força de ligação nuclear



Energia de ligação por nucleão para o isótopo mais estável de cada elemento de ocorrência natural.

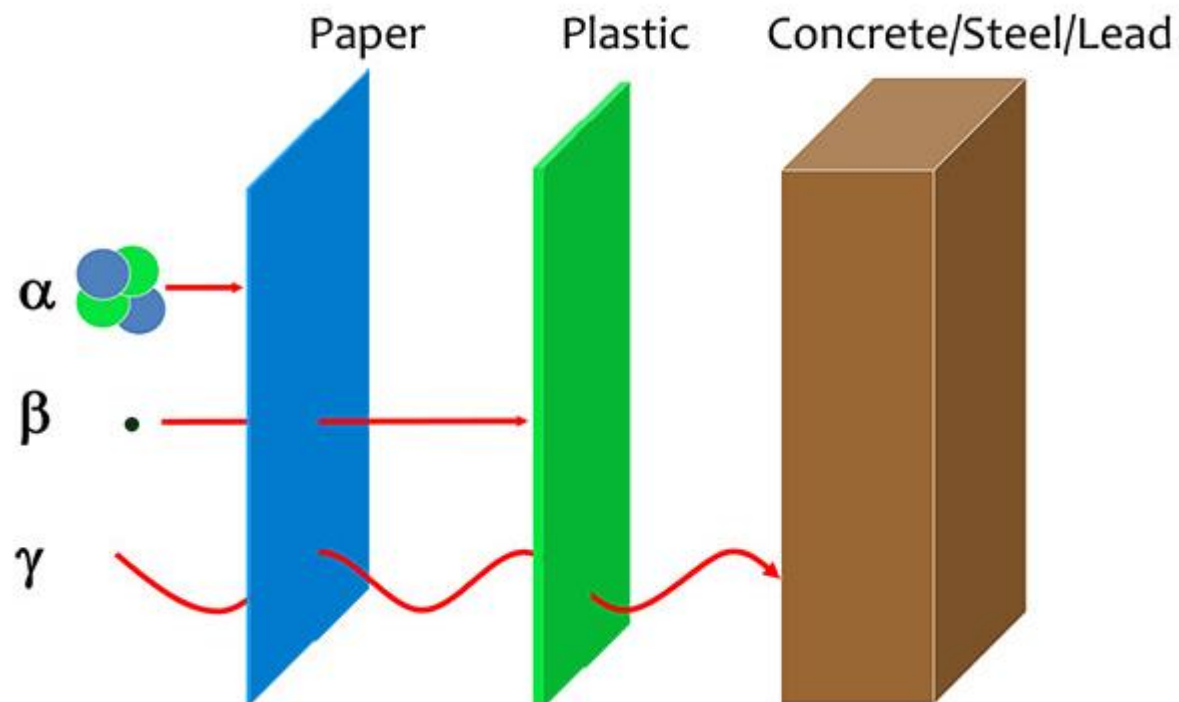
Outra medida de estabilidade é a energia de ligação – a quantidade de energia necessária para superar a força nuclear forte e separar um núcleo.

A energia de ligação atinge um máximo de 8,79 MeV/nucleão para o ^{56}Fe .

Como resultado, há um aumento na estabilidade quando elementos muito mais leves se fundem para produzir elementos mais pesados até o ^{56}Fe e quando elementos mais pesados se dividem para produzir elementos mais leves até o ^{56}Fe , conforme indicado pelas setas na imagem.

Características das emissões

Segurança



Qual o tipo de partícula radioativa mais perigosa para o nosso organismo?

Características das emissões

Segurança



Qual o nosso
contato diário com
a radioatividade?

Características das emissões

Segurança

- **α -particles**

- Two protons plus two neutrons
- Helium (He) nuclei
- Charged particles (2+)



High ionization density



- **β -particles**

- Electrons (or positrons)
- Charged particles (- or +)



Low ionization density



- **γ -rays and X-rays**

- Electromagnetic waves (photons)



Low ionization density/high
penetrating power

- **Neutron beams**

- Neutrons
- Uncharged particles

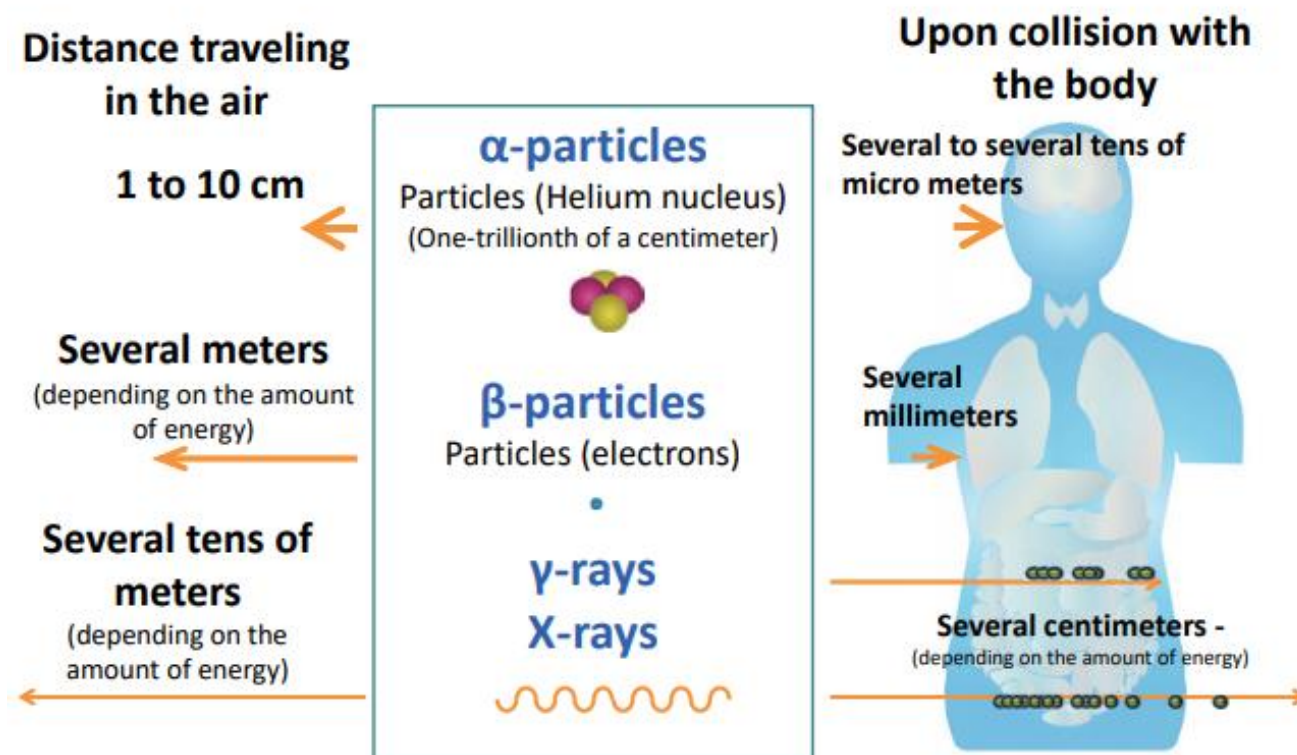


High ionization density



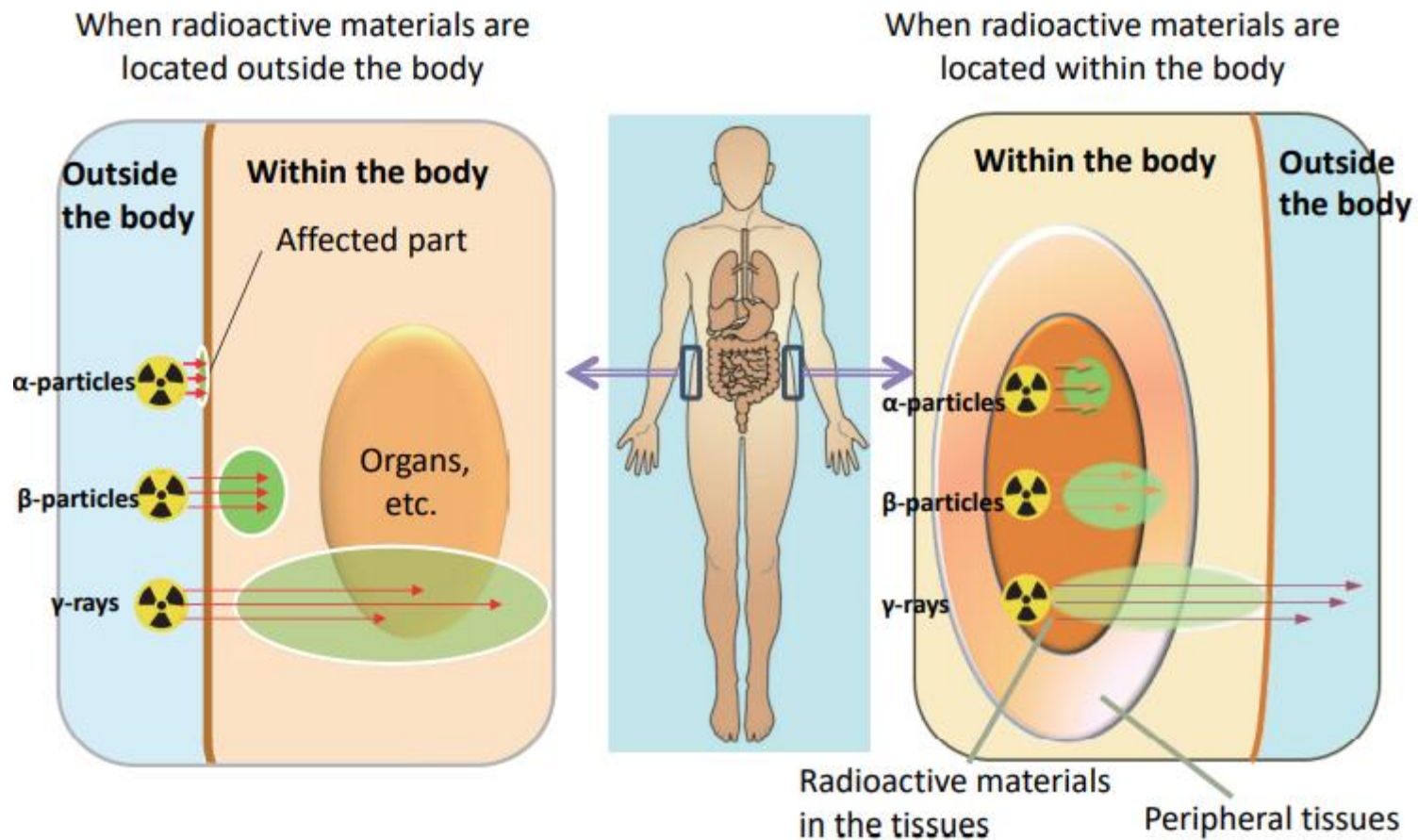
Características das emissões

Segurança



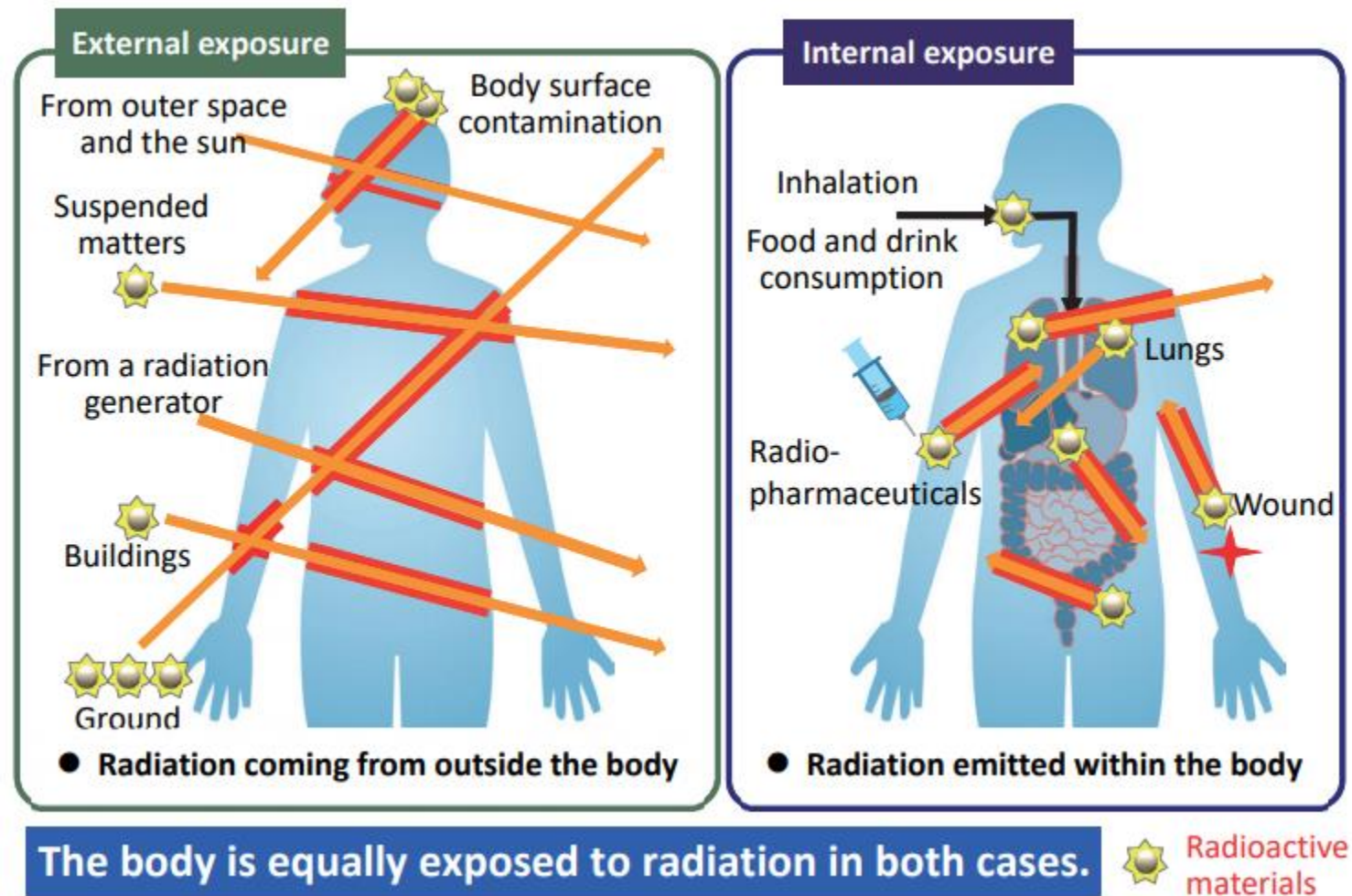
Características das emissões

Segurança



Características das emissões

Segurança



Características das emissões

Segurança

CONSEQUENCE	DOSE, RELATIVE TO NORMAL
Normal living in society (annual)	1
Whole body CT scan	2
Total annual allowed dose for radiation worker	8
Dose annual where small increase in cancer risk	16
Radiation sickness (quick dose)	64
Radiation poisoning (quick dose)	320
Frequently fatal (quick dose)	640
Always fatal (quick dose)	1300

Qual a diferença entre radiação e radioatividade?

Medição da radioatividade

Unidades

- › A unidade de atividade radioativa (A) do Sistema Internacional de Unidades (SI) é o becquerel – **Bq**, nomeado em homenagem ao cientista Henri Becquerel.
- › Um **Bq** é definido como uma transformação (ou decaimento) por segundo.
- › Uma unidade também bastante utilizada é o curie – Ci.

Bq = Becquerel (1 decay/sec)

Ci = Curie

1 Curie (Ci) = 3.7×10^{10} Bq

Medição da radioatividade

Constante de decaimento

- › Taxa média de decaimento e atividade radioativa

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

N – Número de átomos radioativos numa amostra

t – tempo

λ – Constante de decaimento: tem um valor característico para cada radioisótopo. Representa a probabilidade de um núcleo decair numa unidade de tempo. Define-se um valor por cada tipo de decaimento possível.

- › Constante de decaimento total:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$$

Medição da radioatividade

Lei do decaimento radioativo

- › Resolvendo a equação da taxa média de decaimento obtemos a lei geral do decaimento radioativo.
- › Com a passagem do tempo o número de núcleos radioativos diminui de forma exponencial:

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t}$$

- › N_0 é o número de núcleos radioativos no instante 0.
- › O fator $e^{-\lambda t}$ representa a fração de núcleos radioativos presentes numa amostra no instante t. É o fator de decaimento.

Medição da radioatividade

Tempo de meia-vida

- › O tempo de meia-vida é o tempo necessário para que a atividade de um radioisótopo decaia 50%:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$2 = e^{\lambda t_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$$

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

- › Tempo de vida médio:

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

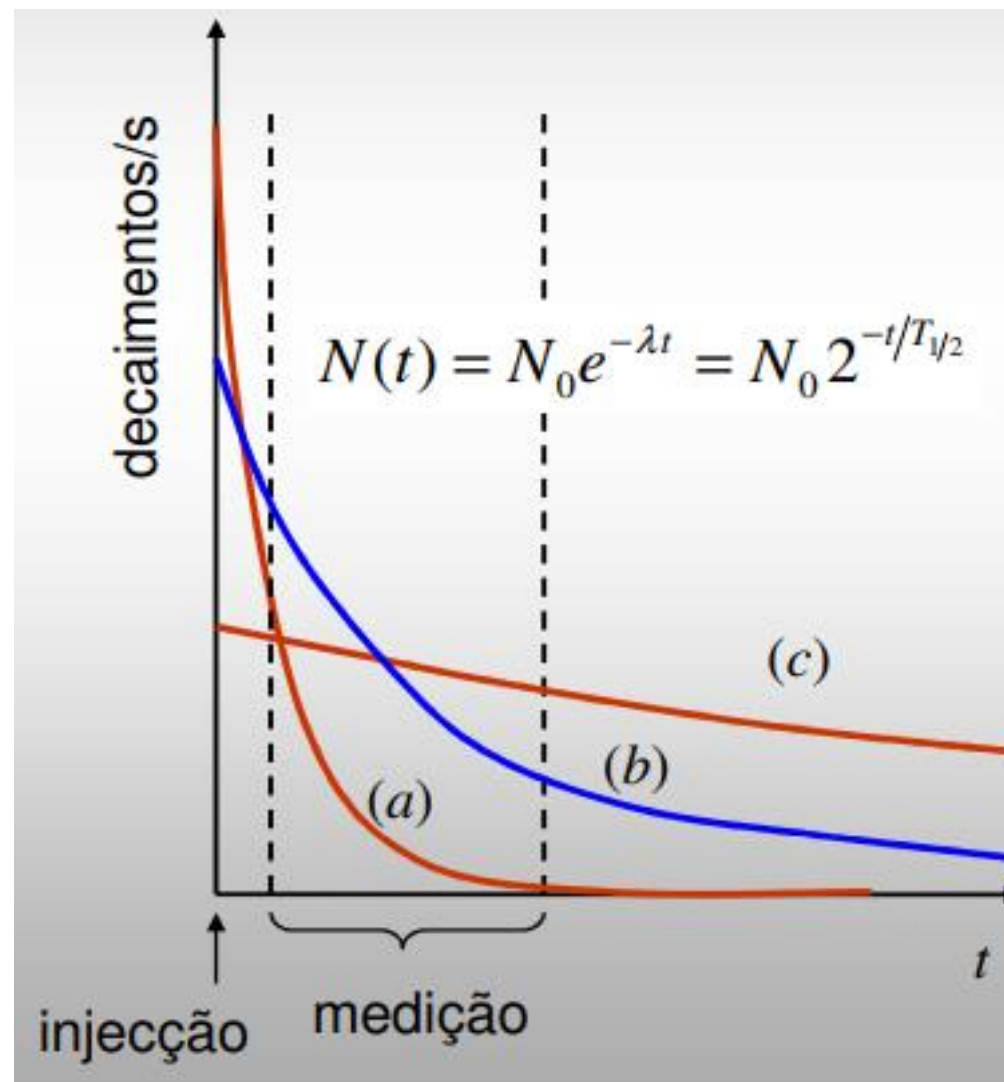
$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}$$

Medição da radioatividade

Tempo de meia-vida

Meia-vida ou período de semidesintegração **de um radioisótopo**:

- › tempo necessário para desintegrar a metade da massa deste radioisótopo.
- › Qual a curva de decaimento ideal tendo em conta a utilização de um radioisótopo em diagnóstico por imagem?



Marcadores radioativos

Características/requisitos

- › Os radioisótopos de origem natural não podem ser usados para a diagnóstico médico devido principalmente ao seu longo período de semidesintegração.
- › É desejável que o fóton gama não seja acompanhado por partículas carregadas – evitando-se assim irradiação desnecessária do paciente.
- › A energia dos fótons deve ser suficientemente alta para estes atravessem o corpo do paciente com menor interação possível, mas não demasiado alta, de forma a que seja possível a sua deteção (70-511 KeV).

Marcadores radioativos

Exemplos

- Gamma Ray Emitters:
 - Iodine-123 (13.3 h, 159 keV)
 - Iodine-131 (8.04 d, 364 keV)
 - Iodine-125 (60 d, 35 keV) (Bad. Why?)
 - Thallium-201 (73 h, 135 keV)
 - Technetium-99m (6 h, 140 keV)
- Positron Emitters:
 - Fluorine-18 (110 min, 202 keV)
 - Oxygen-15 (2 min, 696 keV)

Thyroid function



Kidney function

Most commonly used

Oxygen metabolism

Marcadores radioativos

Exemplos

Tecnécio-99m

- › É usado para marcar várias moléculas de acordo com o órgão a ser estudado (exametazima absorvida no cérebro; metilenodifosfonato absorvido nos ossos; metoxiisobutilnitrila absorvida pelo coração; macroagregado de albumina absorvido nos pulmões).

Flúor-18

- › Quando ligado à deoxiglicose segue o metabolismo da glicose no corpo.

Iodo-131

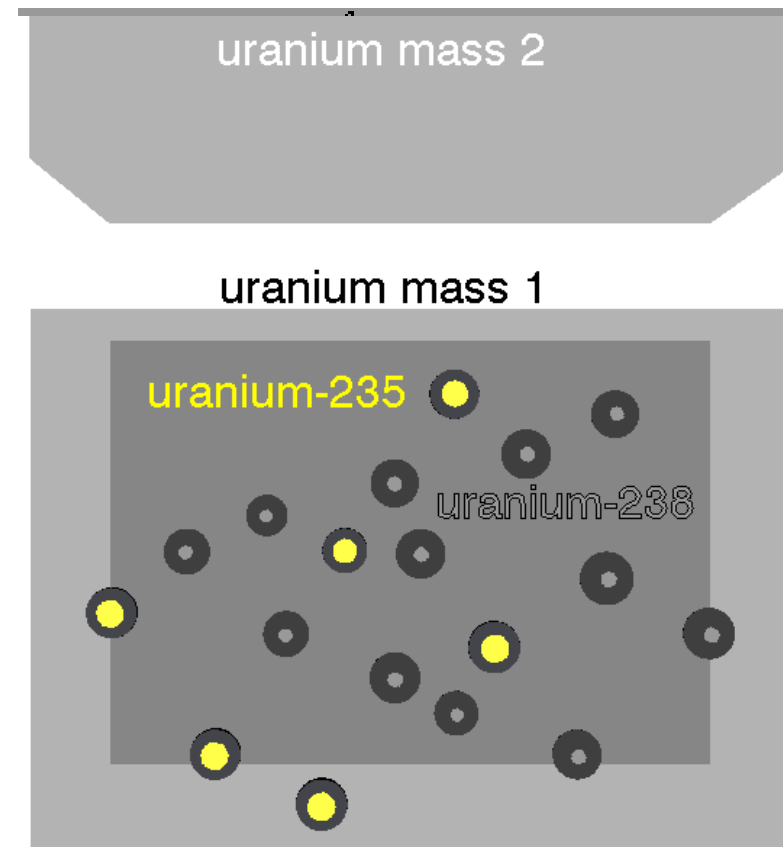
- › Quando administrado por via oral em solução de iodeto de sódio, o iodo é rapidamente absorvido, concentrado e incorporado pela tireoide. Usado para terapêutica e imagem.

Marcadores radioativos

Origem: reatores nucleares

Processo de fissão nuclear:

- › Quebra do núcleo de um átomo instável (de Z elevado) em dois núcleos menores pelo bombardeamento de neutrões.
- › Processo similar ao das centrais nucleares mas desenvolvido em reatores de pequenas dimensões especialmente dedicados à produção de radionuclídeos.
- › Indicado para produção radioisótopos de longa vida, como por exemplo, o iodo-131, o molibdénio-99 e o xénon-133.

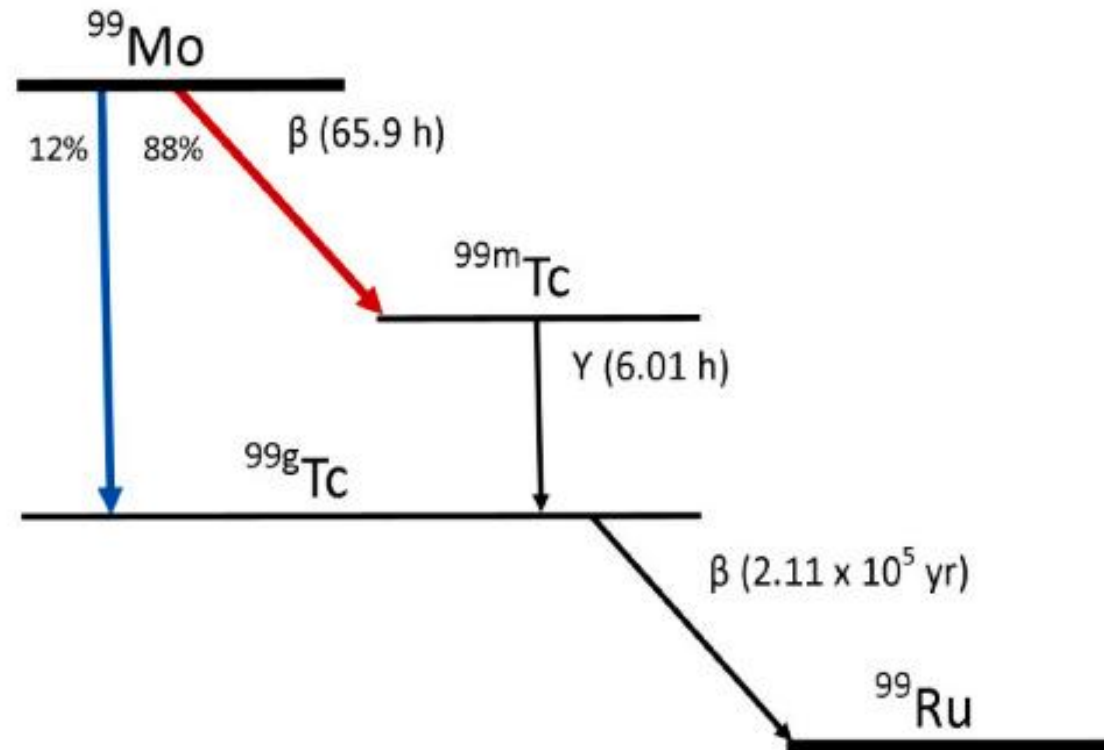


Marcadores radioativos

Origem: geradores (móveis) de radionuclídeos

Método usado para produzir determinados radioisótopos de vida curta em hospitais.

- › Obtenção de um radioisótopo de vida curta a partir da desintegração de um de vida longa (produzido previamente num reator nuclear).
- › O exemplo mais comum é o da obtenção do ^{99m}Tc (radioisótopo de tecnécio), o radioisótopo mais extensamente usado na medicina nuclear.
- › São pequenos e bem protegidos para poderem ser instalados no hospital.

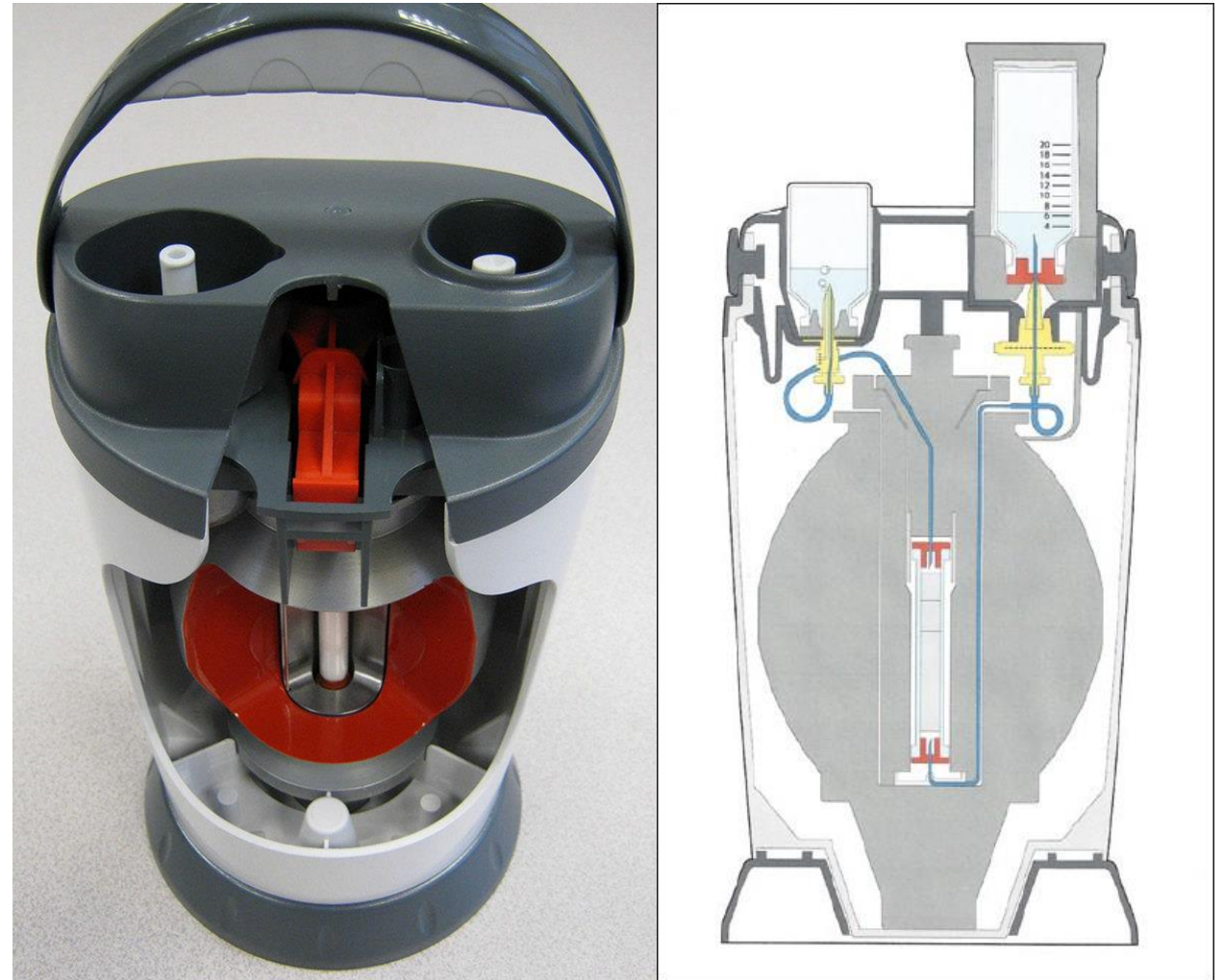


Marcadores radioativos

Origem: geradores (móveis) de radionuclídeos

Método usado para produzir determinados radioisótopos de vida curta em hospitais.

- › Obtenção de um radioisótopo de vida curta a partir da desintegração de um de vida longa (produzido previamente num reator nuclear).
- › O exemplo mais comum é o da obtenção do ^{99m}Tc (radioisótopo de tecnécio), o radioisótopo mais extensamente usado na medicina nuclear.
- › São pequenos e bem protegidos para poderem ser instalados no hospital.

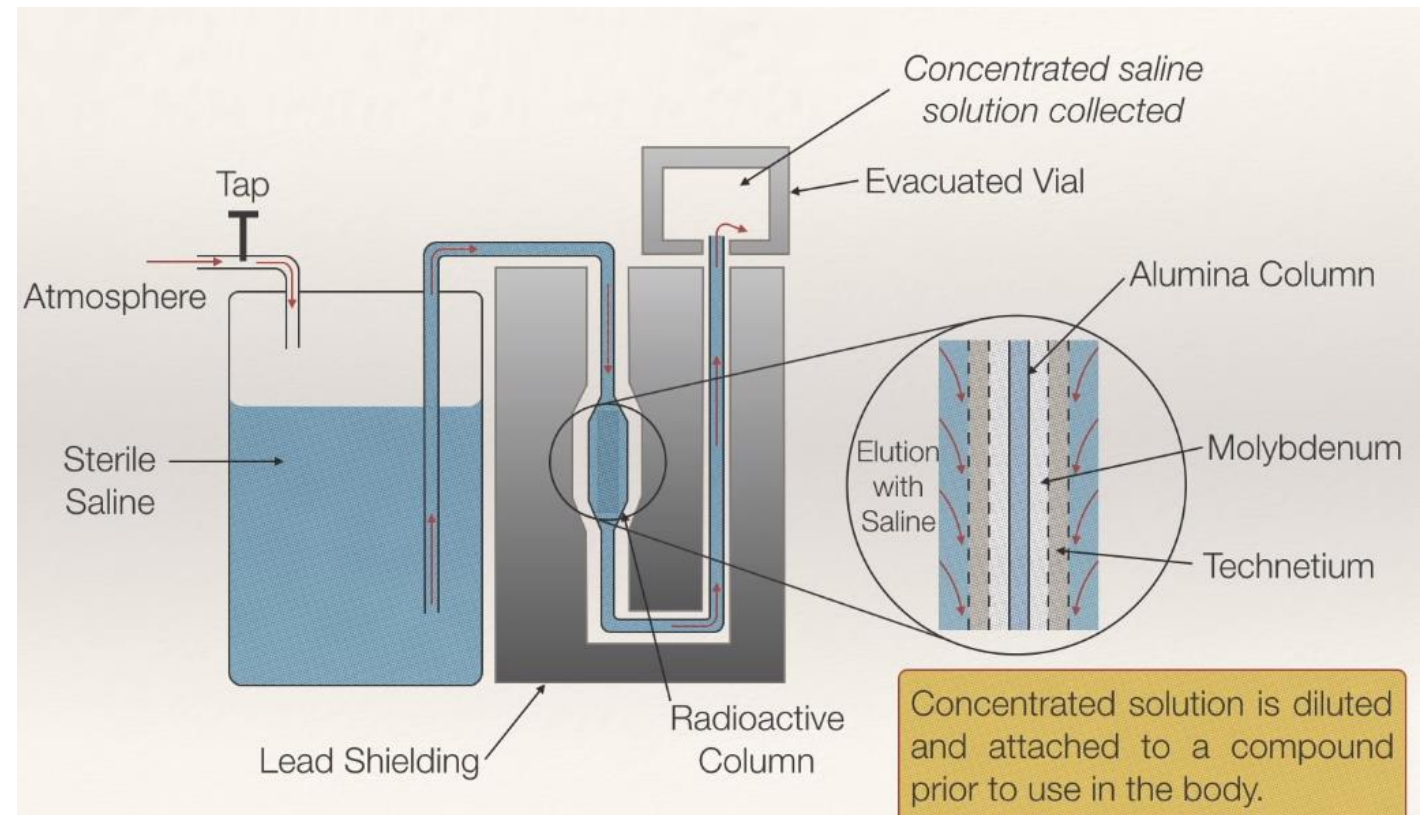


Marcadores radioativos

Origem: geradores (móveis) de radionuclídeos

Método usado para produzir determinados radioisótopos de vida curta em hospitais.

- › Obtenção de um radioisótopo de vida curta a partir da desintegração de um de vida longa (produzido previamente num reator nuclear).
- › O exemplo mais comum é o da obtenção do ^{99m}Tc (radioisótopo de tecnécio), o radioisótopo mais extensamente usado na medicina nuclear.
- › São pequenos e bem protegidos para poderem ser instalados no hospital.

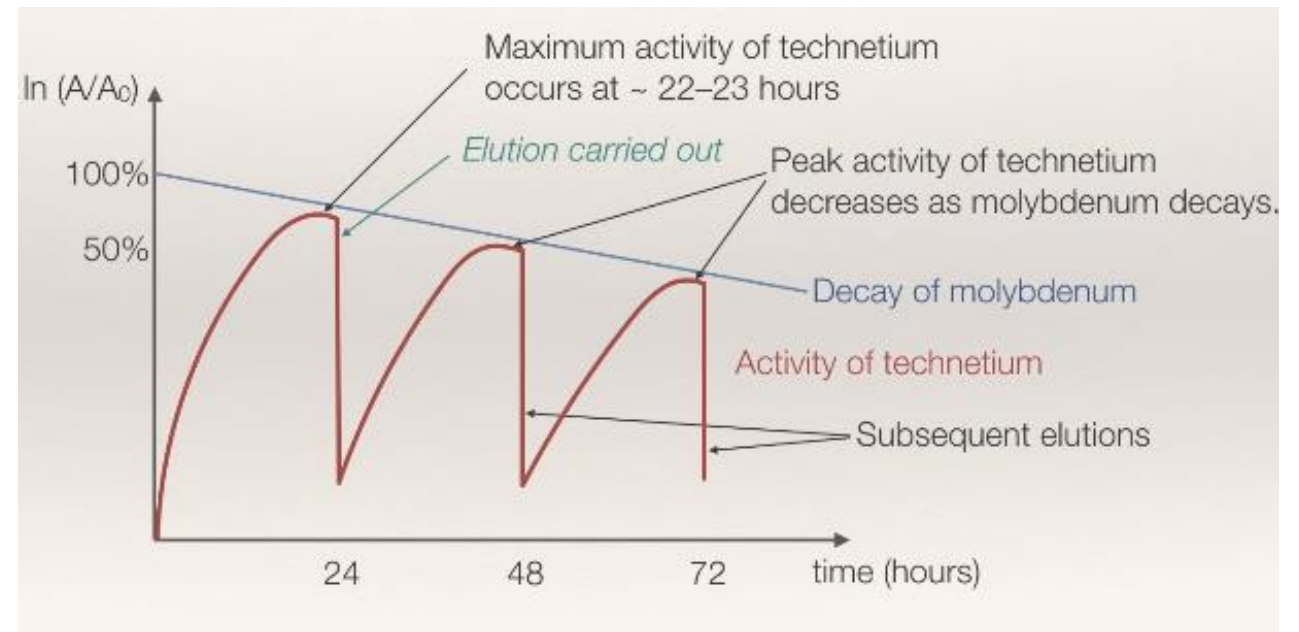


Marcadores radioativos

Origem: geradores (móveis) de radionuclídeos

Método usado para produzir determinados radioisótopos de vida curta em hospitais.

- › Obtenção de um radioisótopo de vida curta a partir da desintegração de um de vida longa (produzido previamente num reator nuclear).
- › O exemplo mais comum é o da obtenção do ^{99m}Tc (radioisótopo de tecnécio), o radioisótopo mais extensamente usado na medicina nuclear.
- › São pequenos e bem protegidos para poderem ser instalados no hospital.

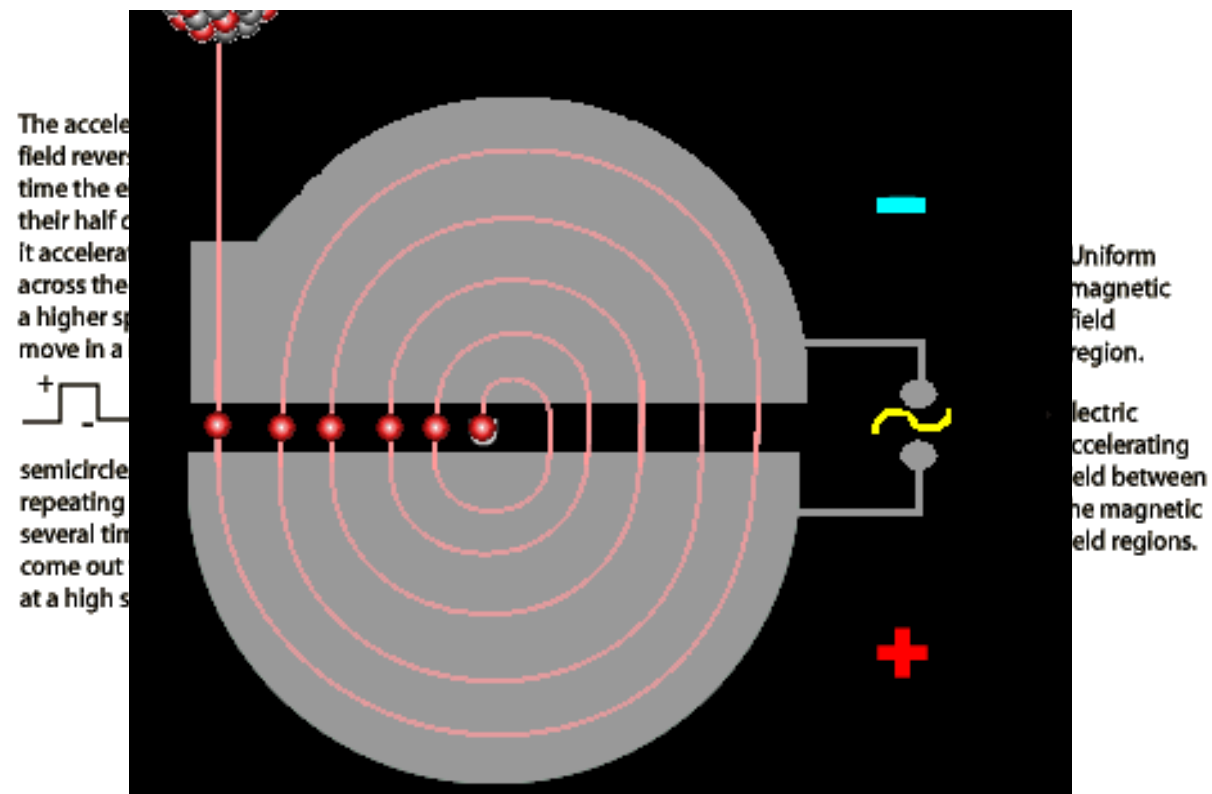


Marcadores radioativos

Origem: aceleradores de partículas

Partículas carregadas (ex: prótons) são aceleradas com energia e velocidade muito elevadas contra um material alvo.

- › A aceleração elétrica de partículas carregadas é feita pelo movimento através de sucessivos campos eletromagnéticos. Estes campos podem ser lineares (acelerador linear) ou circular (acelerador circular).
- › O equipamento geralmente usado neste método de produção de radioisótopos é o ciclotrão.
- › Indicado para produção de radioisótopos com tempo de meia-vida relativamente curto.





Marcadores radioativos

Novos desenvolvimentos

<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6584071931421605888/>

Até quarta!

*Bibliografia disponível na plataforma