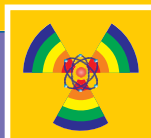


RADIAÇÃO IONIZANTE

**Biomédico
Técnico/Tecnólogo
em Radiologia**



**FUNDAMENTOS BÁSICOS DE
FÍSICA RADIOLÓGICA**



ASPR

ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE

Protegendo Vidas

MÓDULO - I



ASPR

ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE



RADIÇÕES IONIZANTES

“Física da Radiação”

ASPR
ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE

Protegendo Vidas

Rua Paulo Portela, nº 90 - Bairro Castália - Cep: 45.603 - 194 - Itabuna/Bahia
Fone contato: (73) 99191 - 1119 ; E-mail: aspronline@hotmail.com
 www.aspronline.wix.com/aspronline ;  www.facebook.com/asprcq 

Milton C. Maciel
Físico em Medicina – ABFM nº 0664
Supervisor em Proteção Radiológica – CNEN 050
Coordenador do Dpto. de Física Médica da SCMI/CRI - Radioterapia
Assessor Técnico do Serviço de Radiodiagnóstico da SCMI





ÍNDICE

Prefácio	i
----------------	---

CAPÍTULO – I “ESTRUTURA DA MATÉRIA”

1 - Introdução.....	01
2 - O átomo.....	01
Modelos atômicos.....	01
3 - O núcleo do átomo.....	02
4 - Massa atômica e Unidade de energia.....	03
Número atômico (Z).....	03
Massa atômica ou peso atômico (A).....	04
Isótopos.....	05
Unidade de massa atômica (u.m.a)	06
Energia.....	06
5 - Distribuição de elétrons ao redor do núcleo do átomo.....	07
Níveis de energia nuclear.....	08
6 - Radiação corpuscular e Radiação eletromagnética.....	08
Radiação corpuscular.....	09
Radiação eletromagnética.....	10
Natureza quântica (fotônica) da radiação.....	12
7 - Natureza e Características das radiações.....	13
Radiação alfa ou partículas alfa (α).....	16
Radiação beta ou partículas beta (β).....	17
Radiação gama ou raios – gama (γ).....	18

CAPÍTULO – II “DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA DO NÚCLEO” (RADIOATIVIDADE)

1 - Considerações gerais.....	23
2 - Radioatividade.....	24
3 - Séries radioativas.....	25
4 - Principais processos de decaimento radioativos.....	26
Decaimento com emissão de partícula alfa (α).....	26
Decaimento com emissão de partículas beta (β).....	27
Decaimento com emissão de fótons ou raios – gama.....	28
5 - Leis do decaimento radioativo	29
6 - Atividade (A) de uma amostra radioativa.....	29
7 - Unidade da atividade.....	30
8 - Meia vida física ($T_{1/2}$)	31
9 - Meia vida biológica (B).....	32
10 - Meia vida efetiva (T_E).....	32
11 - Vida média (T).....	33





CAPÍTULO – III “INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA”

1	- Ionização do átomo.....	36
2	- Radiação diretamente ionizante.....	36
3	- Radiação indiretamente ionizante.....	37
4	- Atenuação da radiação.....	37
5	- Camada semi-redutora (CSR).....	38
6	- Processos de interação da radiação com a matéria.....	39
	- Efeito Compton “espalhamento coerente ou elástico”	40
	- Efeito Compton “espalhamento incoerente ou inelástico”	40
	- Efeito fotoelétrico.....	41
	- Produção de pares elétron-pósitrons e aniquilamento.....	41
7	- Importância relativa dos vários tipos de interações.....	42
	Glossário de termos.....	44





ASPR

ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE

Capítulo - 1



Rua Paulo Portela, nº 90 - Bairro Castália - Cep: 45.603 - 194 - Itabuna/Bahia
Fone contato: (73) 9199-1111 | aspronline@hotmail.com
www.aspronline.wix.com/aspronline | www.facebook.com/asprcq curtir

Assuntos

- 1. Introdução**
- 2. Estrutura da matéria**
- 3. Desintegração radioativa do núcleo**
- 4. Interação da radiação com a matéria**



O ÁTOMO

1 - Introdução

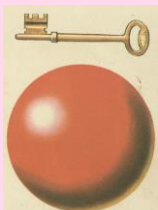
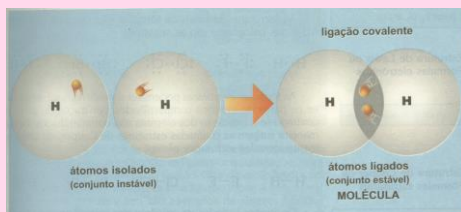
Da mesma maneira que podemos escrever todas as palavras usando somente as poucas letras do alfabeto, os milhões de compostos químicos (matéria) existentes resultam da combinação de apenas 92 ingredientes chamados “elementos”. Uma molécula é a menor parte da matéria e quando esta é decomposta sobram os átomos que são as menores porções possíveis da matéria.

Em resumo:

Matéria - Tudo que ocupa lugar ou espaço

Molécula - Menor parte da matéria

Átomo - Elemento que quando combinados entre si formam as substâncias



Os átomos são tão pequenos que, se a chave da figura crescesse a ponto de circundar a terra, nenhum dos seus átomos seria maior que a esfera vermelha.

2- O átomo

Muito antes dos conhecimentos atuais sobre a estrutura dos átomos, vários foram os modelos atômicos sugeridos para se explicar o que o Demócrito chamou de Átomo, que em grego quer dizer indivisível.

Modelos atômicos

Em 1808, para explicar as leis das reações, leis essas estabelecidas através de resultados experimentais, Dalton propôs a sua famosa teoria atômica, na qual o átomo foi caracterizado como uma partícula maciça e indivisível, constituinte da matéria.

O modelo atômico de Dalton é o modelo da bola de bilhar (evidentemente, de dimensões microscópicas). A grande diferença entre o átomo dos filósofos da Antiguidade e o átomo de Dalton está no fato de o primeiro ter sido estabelecido apenas com base em pensamentos filosóficos, e o segundo em resultados experimentais.

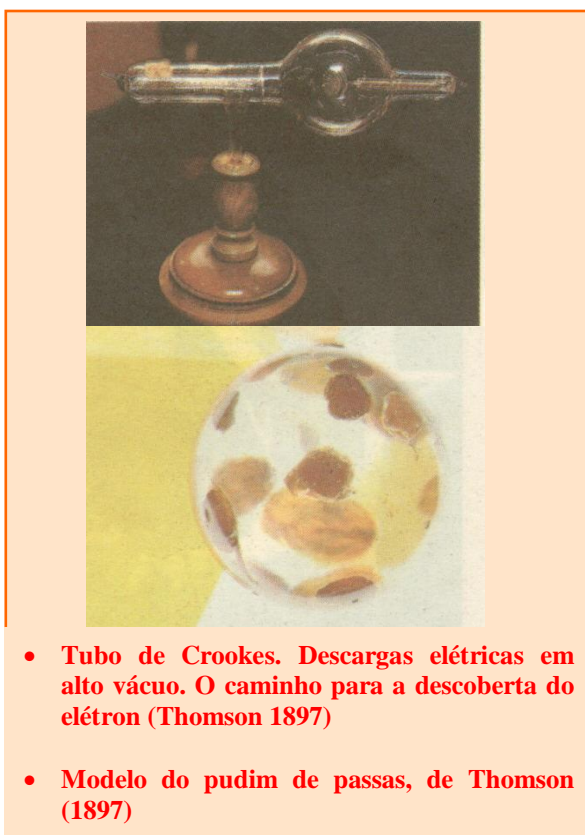


Modelo atômico da bola de bilhar de Dalton

O modelo de átomo como partícula maciça e indivisível vingou até a última década do século XIX. Em 1897, Thomson provou, através de descargas elétricas em alto vácuo, nos chamados Tubos de Crookes, que o átomo contém partículas com carga elétrica negativa. Em 1891, Stoney já havia batizado essas partículas de elétrons, mas foi Thomson quem provou a sua existência e, por isso, ele é considerado o descobridor do elétron.

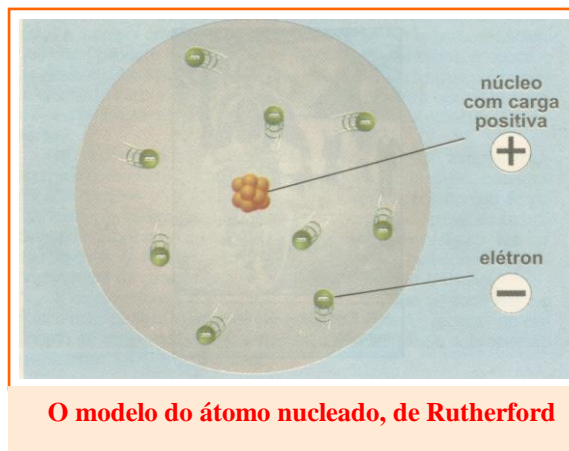


Thomson admitiu que o átomo fosse uma partícula maciça, mas não indivisível. O átomo seria uma esfera gelatinosa com carga positiva na qual estariam incrustados os elétrons, neutralizando a carga positiva. Thomson comparou o átomo como um “pudim de passas”, no qual as passas representavam os elétrons e a massa gelatinosa representava a parte com carga elétrica positiva. Por isso, o modelo atômico de Thomson é chamado modelo do pudim de passas.



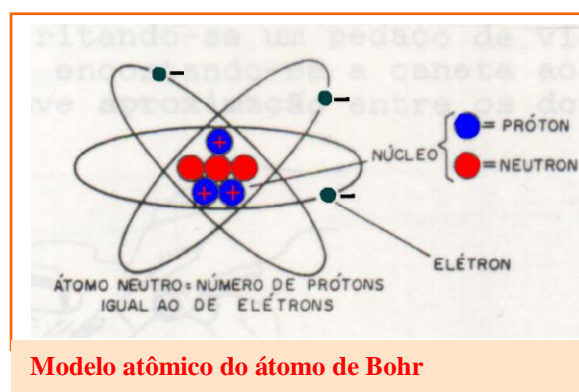
Quatorze anos após a descoberta do elétron. Rutherford, através de suas experiências, provou que o átomo não é maciço, mas formado por um núcleo, muito pequeno em relação ao átomo, onde concentra praticamente toda a sua massa e com carga elétrica positiva; ao redor do núcleo ficam os elétrons, neutralizando a carga dele. Surgiu

então o modelo do átomo nucleado, que foi comparado com o sistema planetário. O núcleo seria o Sol e os elétrons seriam os planetas. Os elétrons envoltórios constituem a eletrosfera do átomo.



Em 1913, Niels Bohr, físico dinamarquês e aluno de Rutherford, propôs um modelo para o átomo de hidrogênio. Nesse modelo, ele introduziu conceitos quânticos para explicar a estabilidade e a origem das linhas espectrais do átomo de hidrogênio.

Bohr baseou-se no modelo nuclear de Rutherford. A experiência de Rutherford havia mostrado que grande parte da massa do átomo estava associada à carga positiva num pequeno volume localizado no centro do átomo. Os elétrons em número suficiente giravam em órbitas circulares, ao redor do núcleo.



Podemos dizer então que tudo é feito de átomos...



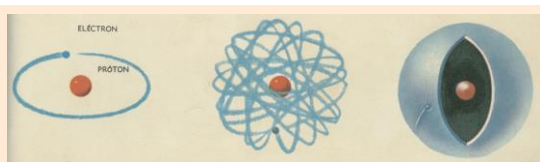
- A terra, assim como o universo é composta de átomos
- Todos os seres vivos também se compõem de átomos
- Todas as plantas se compõem igualmente de átomos
- Todos os objetos inanimados são compostos de átomos

Mas... de que se compõem os átomos?

3 - O Núcleo do átomo

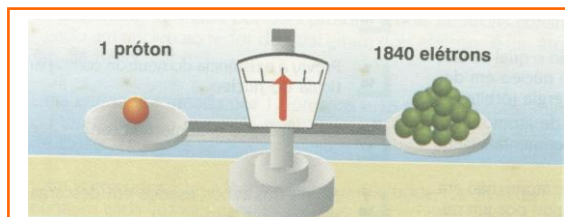
No centro há um núcleo onde há os prótons com cargas elétricas positivas e os nêutrons sem carga elétrica. Em volta, na eletrosfera giram os elétrons, com cargas elétricas negativas.

O núcleo é muito pequeno em relação ao átomo e o seu diâmetro é cerca de 20.000 vezes menor. O átomo, portanto, está quase vazio. Mas, a fantástica velocidade dos elétrons e suas contínuas mudanças de trajetória permitem a formação de uma espécie de camada permanente, em torno do núcleo.



Átomo de hidrogênio: 1 próton compõe o núcleo e 1 elétron compõe a eletrosfera.

Como o modelo atômico de Rutherford propõe que a massa do átomo está praticamente toda concentrada no núcleo, isso sugeriu que a massa do próton seria muito grande comparada com a do elétron. Somente em 1920 foi provada experimentalmente a existência do próton como uma partícula com carga positiva numericamente igual à do elétron e com massa aproximadamente 1840 vezes maior que a do elétron.



A massa do próton é 1840 vezes maior do que a massa do elétron

Em 1920, o próprio Rutherford previu a existência no núcleo de partículas sem cargas elétricas e com massa igual à do próton, e deu-lhe o nome de nêutron. Somente em 1932 Chadwick conseguiu obter essas partículas através de experiências e, por isso, ele é considerado o descobridor dos nêutrons.

4 - Massa atômica e Unidade de Energia

Sabemos hoje que existem 92 átomos naturais e que os átomos diferem um dos outros pelos números de prótons, elétrons e nêutrons na sua formação e, portanto, costumam receber um número atômico.

Número atômico (Z)

Em um átomo normal, as cargas negativas dos elétrons, estão equilibradas com as cargas positivas de outros tantos prótons do núcleo.



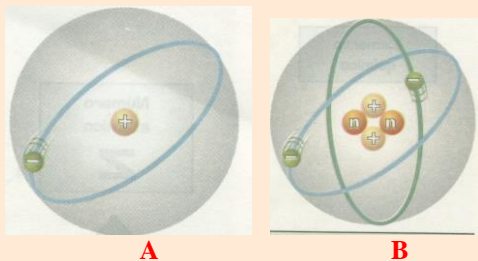


Há, portanto, iguais quantidades de elétrons e de prótons. Na realidade, o número de prótons no núcleo do átomo é que caracteriza o número atômico representado pela letra (**Z**)

- Um átomo normal é eletricamente neutro, pois o número de prótons (Q_+) é igual ao número de elétrons (Q_-)

Cada átomo tem um número atômico (**Z**) de acordo com o número de prótons dentro do núcleo.

Assim, elemento químico hidrogênio é o átomo de $Z = 1$; elemento químico hélio é o átomo de $Z = 2$, e assim por diante. A cada Z corresponde um único elemento químico, e vice-versa.



A – Átomo de hidrogênio
B – Átomo de hélio

Os elementos encontrados na natureza têm Z variando entre $Z = 1$ (hidrogênio) e $Z = 92$ (urânio). A partir de 1942, começaram a ser obtidos artificialmente elementos com $Z > 92$, chamados elementos transurânicos. Entre esses, o de maior Z obtido foi de $Z = 109$. Entre os elementos com $Z < 109$, existem quatro que são artificiais: tecnécio (Tc $Z=43$); proméio (Pm $Z=62$); astato (At $Z=85$) e frâncio (Fr $Z=87$).

Massa atômica ou peso atômico (**A**)

A massa do átomo é dada pelo seu número de prótons e nêutrons, pois a massa dos elétrons

é desprezível em relação à dos prótons e nêutrons. O número de prótons, somado ao número de nêutrons, é chamado de número de massa e é representado pelo símbolo (**A**)

A soma do número de prótons ($Z = P$) e de nêutrons (N) presentes no núcleo de um átomo é a Massa atômica (**A**)

Assim, os números de massa dos átomos de hélio e lítio como exemplos são:

HÉLIO **He**

ATOMO NÚMERO DOIS

+ PRÓTONS	2	+	EQUILIBRAM	-	ELÉTRONS	2
NÚMERO ATÔMICO = 2						
Partículas no núcleo =		Prótons (p)			2	
		Nêutrons (n)			2	
PESO ATÔMICO =				4		

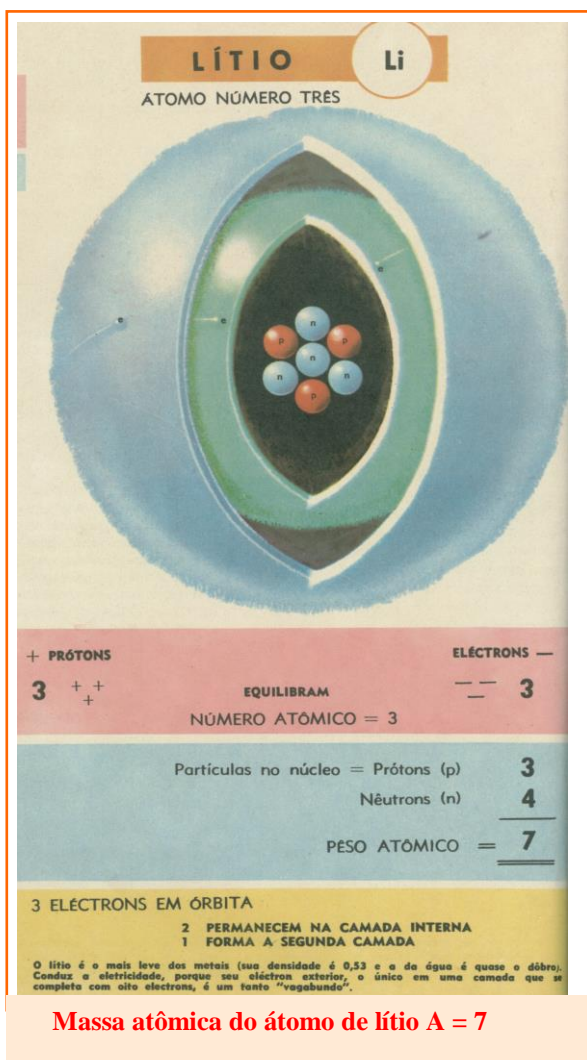
2 ELÉTRONS EM ÓRBITA

AMBOS PERMANECEM À MESMA DISTÂNCIA DO NÚCLEO E FORMAM A CAMADA N.º 1.

O hélio é o gás mais difícil de se liquefazer. Quimicamente, é inerte, porque a camada N.º 1 está completa, com dois elétrons. Liquefeito, comporta-se de maneira "imprevisível".

Massa atômica do átomo de hélio **A = 4**





A fim de facilitar, os nomes dos átomos costumam ser representados por símbolos e os prótons e os nêutrons, partículas contidas no núcleo atômico, são chamados "Núcleos". Qualquer sistema de núcleons, que tenha uma existência suficiente longa para ser identificado é chamado "Nuclídeo". Cada nuclídeo é representado por uma notação constituída do símbolo do elemento químico correspondente, do seu número atômico (Z) e de seu número de massa (A).

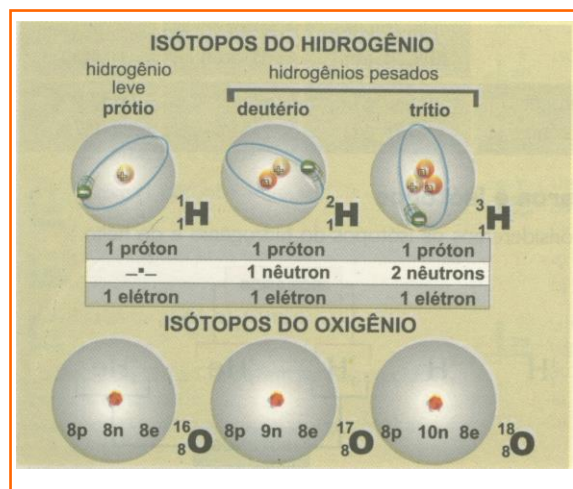
${}_Z^AX$ onde, **Z = número atômico**
X = Número do elemento químico
A = número da massa atômica

Isótopos

Já vimos que o número atômico caracteriza um elemento químico. E também que, a maioria dos elementos é formada por átomos com diferentes números de massa. Átomos (nuclídeos) com diferentes números de massa, mas com o mesmo número atômico são chamados de isótopos.

Átomos (nuclídeo) com igual número atômico (igual Z) e diferente número de massa (diferentes A) são isótopos de um mesmo elemento químico.

Como exemplo pode ver o caso dos isótopos do hidrogênio e do oxigênio.



Isótopos de hidrogênio e oxigênio. Observe que os números de prótons são iguais, mas, as massas são diferentes.

APLICAÇÕES

O óxido de deutério, D₂O, é a água pesada, usada, por exemplo, como moderador em reatores nuclear e como marcador para determinação de mecanismos de reações.

O óxido de trítio não é usualmente assim utilizado, porque seu custo é altíssimo



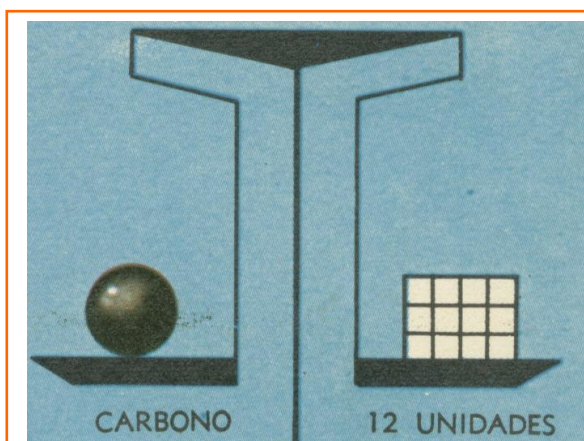
Unidade de Massa Atômica (u.m.a)

Nem sempre o quilograma é um padrão conveniente. Para indicar a massa de um grão de areia, é mais conveniente utilizar como padrão a massa de 1 miligrama (mg). Deste modo, é mais conveniente referir-se à massa de um grão de areia por 2 mg do que expressar sua massa por **0,000002 Kg**. O quilograma também não é um padrão conveniente para exprimir a massa de um navio. Nesse caso, a tonelada é um padrão mais conveniente.

Para exprimir a massa de um átomo, o padrão miligrama (1 mg) não é conveniente, pois é muito grande.

Em 1962, num Congresso Internacional de Química, os químicos escolheram um padrão conveniente para exprimir a massa do átomo e o padrão escolhido foi unidade de massa atômica (u.m.a).

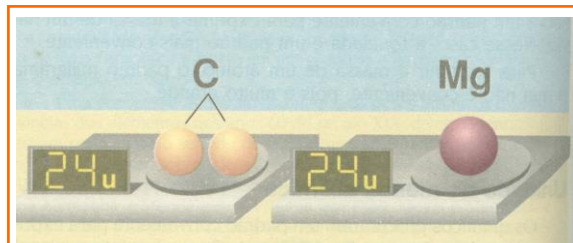
O átomo escolhido como padrão foi o átomo de carbono (${}^6\text{C}^{12}$) que tem uma massa atômica (A) = 12 (6 prótons e 6 nêutrons) foi dividida em 12 partes igual e cada uma das partes (1/12) vale 1 u.m.a (unidade de massa atômica).



$$1 \text{ u.m.a} = 1/12 {}^6\text{C}^{12}$$

O átomo do ${}^6\text{C}^{12}$ é definido como tendo massa (A) igual a 12 u.m.a

Como exemplo, temos:



O átomo de magnésio (Mg^{24}) pesa duas vezes mais que o átomo de carbono C^{12}

$$1 \text{ u.m.a} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Elétron: $Q_e^- = -1,60210 \times 10^{-19} \text{ C}$
 $m_e = 9,1091 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0,0055 \text{ u.m.a}$

Próton: $Q_p^+ = +1,60210 \times 10^{-19} \text{ C}$
 $m_p = 1,67252 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,0073 \text{ u.m.a}$

Neutrons: $Q_n = 0$
 $M_n = 1,67482 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,0087 \text{ u.m.a}$

Energia

Da física clássica, a energia é definida como a capacidade que um corpo tem de realizar trabalho e que pela lei de Lavoisier, esta nunca se perde, mas se transforma a sua unidade básica é o Joule (J)

No campo da física atômica ou nuclear ou mesmo física moderna, foi introduzindo uma unidade de energia denominada **elétron-volt (eV)**. Um elétron-volt é a energia adquirida por um elétron ao atravessar, no vácuo, uma diferença de potencial igual a um volt.

Sendo $Q_e^- = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, a energia em J equivalente a 1 eV será:

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

Multiplos:

$$1 \text{ KeV} = 1000 \text{ eV} = 10^3 \text{ eV}$$

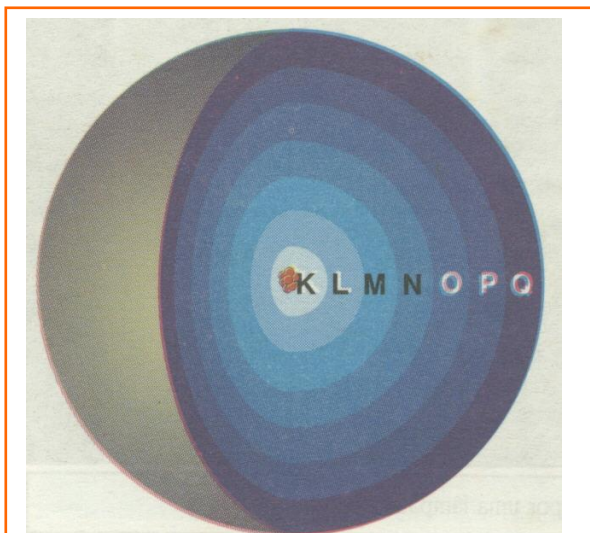
$$1 \text{ MeV} = 1000000 \text{ eV} = 10^6 \text{ eV}$$





5- Distribuição de elétrons ao redor do núcleo do átomo

Os elétrons que giram ao redor do núcleo estão distribuídos em camadas as quais são representadas por letras K, L, M, N, O, P e Q, sucessivamente, a partir do núcleo.



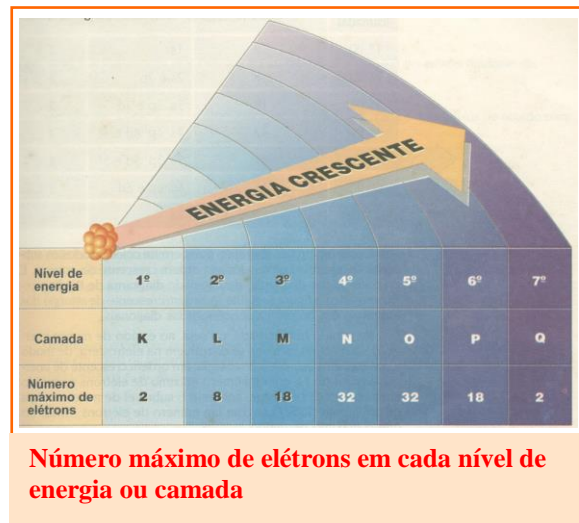
Modelo do átomo de Bohr (1913). Os elétrons giram em torno do núcleo, em determinadas órbitas ou níveis de energia, representados por K, L, M, N, O, P, e Q

Os elétrons de um átomo têm diferentes energias e a sua localização na eletrosfera depende de suas energias. À medida que as camadas se afastam do núcleo, aumenta a energia dos elétrons nele localizados.

As camadas da eletrosfera representam os níveis de energia da eletrosfera. Assim, as camadas K, L, M, N, O, P e Q constituem os 1^o., 2^o., 3^o., 4^o., 5^o., 6^o., e 7^o. níveis de energia, respectivamente.

Através de métodos experimentais, os químicos concluíram que os elétrons ficam distribuídos em camadas ou níveis e que cada

cada camada ou nível possui um determinado número máximo de elétrons conforme figura seguinte:



Níveis de energia atômicos

Como explicado antes, o modelo atômico de Bohr pode ser assim resumidamente:

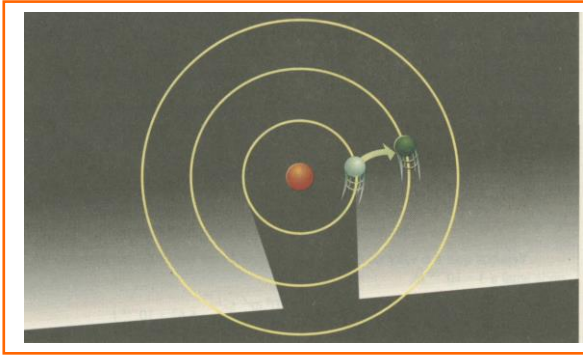
- Os elétrons giram ao redor do núcleo em determinadas órbitas estacionárias e cada órbita representa um **nível fixo de energia**
- A energia do elétron **aumenta** à medida que ele se **afasta do núcleo**, isto é, a energia da órbita é **tanto maior quanto maior for o seu raio**. Se o elétron permanecer no nível não perderá e nem ganhará energia.
- Quando se fornece energia ao átomo, seus elétrons absorvem essa energia, saltando de órbitas mais próximas (nível de energia E_1) para órbitas mais afastadas do núcleo (nível de energia E_2), absorve um quantum de energia igual a $(E_2 - E_1)$.

Por outro lado, quando o átomo volta ao seu estado normal de energia o elétron salta do





nível de energia E_2 - para seu nível de energia primitivo E_1 , a energia recebida é emitida na forma de um fóton de energia $(E_2 - E_1)$ sob a forma de uma onda eletromagnética (luz).



A energia do fóton é:

$$E_f = (E_2 - E_1) = hf \Rightarrow f = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad \text{e} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

Níveis de energia nuclear

Sabemos que para manter um núcleo junto, uma força deve estar presente. Esta força deve ser forte bastante para vencer a força eletrostática que existe dentro do núcleo e tenta quebrar o núcleo. Esta força de ligação particular é chamada força nuclear.

No átomo os núcleons (prótons e nêutrons) são arranjados em camadas representando estados discretos de energia do núcleo, semelhantes aos níveis de energia atômica.

O núcleo tende a permanecer em um estado estável, mas, se o núcleo do átomo recebe energia este fica em um estado excitado e ao se desexcitar, este libera energia em quantidade igual à diferença de energia entre os dois estados.

Exemplo: Átomo de cobalto-60

- Quando o núcleo do átomo de cobalto-60 já em estado excitado, primeiro emite uma partícula beta menos, em seguida em dois saltos sucessivos, emite dois fótons com energias de 1,17 MeV e 1,33 MeV, cuja energia média é 1,25 MeV.

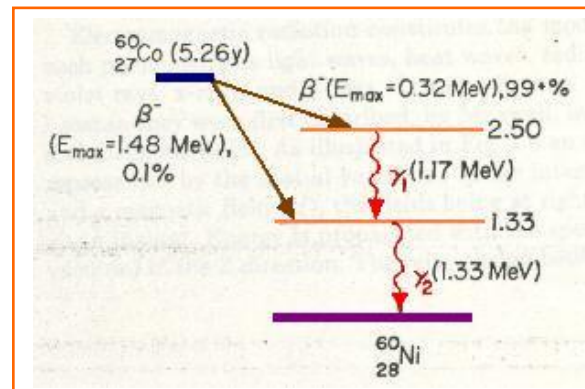


Diagrama do nível de energia para o decaimento radioativo do núcleo do ${}_{28}\text{Co}^{60}$

O Radioisótopo ${}_{27}\text{Co}^{60}$ torna-se radioativo, quando o átomo ${}_{27}\text{Co}^{59}$ (estável) tem o seu núcleo bombardeado por nêutrons em um reator nuclear.

Em geral a emissão de raios - γ ocorre após a emissão de partículas - α ou partículas - β , e destina-se a liberação do excesso de energia do núcleo.

6 - Radiação Corpuscular e Radiação Eletromagnética

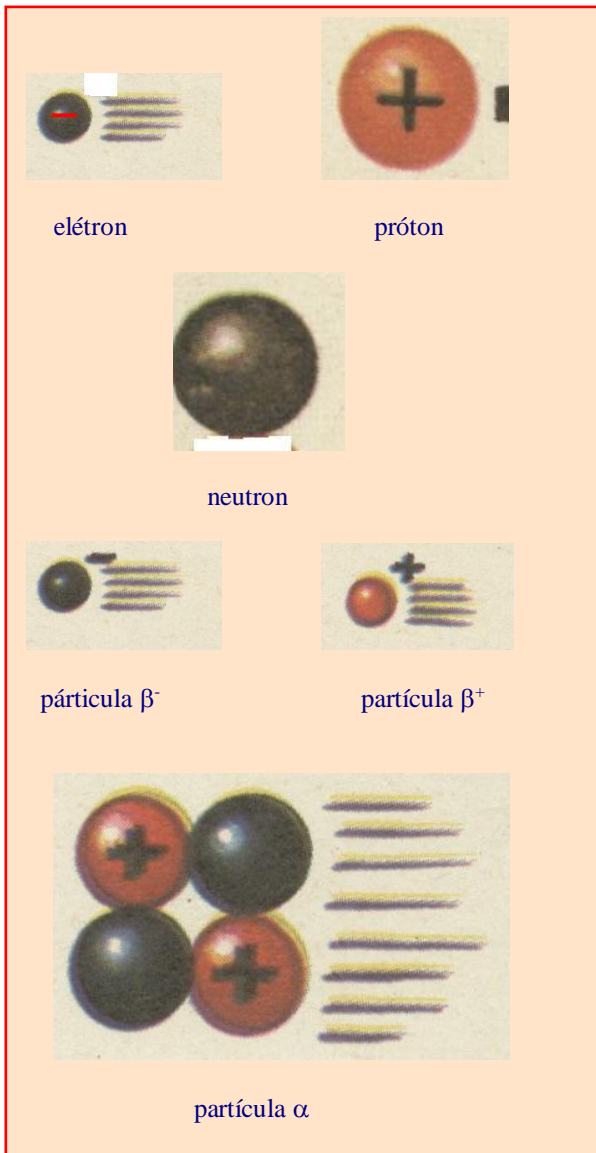
A radiação é propagação de energia sob várias formas, sendo dividida geralmente em dois grupos: Radiação corpuscular e radiação eletromagnética.





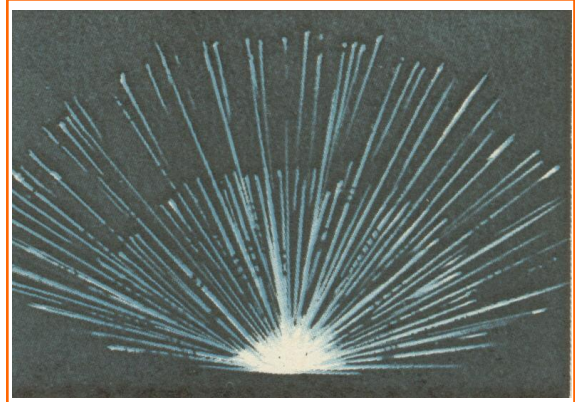
Radiação corpuscular

A radiação corpuscular é constituída de um feixe de partículas elementares, ou núcleos atômicos, tais como: elétrons, prótons, nêutrons, mésons π , deutérons, partículas alfa.



Radiação corpuscular são partículas subatômicas e quando em alta velocidade formam feixe.

sempre propagam se propagam em linha reta, principalmente as partículas alfas que tem uma massa muito grande comparada com as massas das outras partículas.



Fotografia, tomada em uma câmara de neblina, mostra a trajetória de dois tipos de partículas α .

A radiação corpuscular tem suas partículas com massa (**m**) e velocidade (**V**). A velocidade (**V**) da partícula é muito menor que a velocidade da luz ($V \ll c$), onde “**c**” é a velocidade da luz no vácuo e vale 3×10^8 m/s.

A energia cinética (E_c) das radiações corpusculares é dada por:

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2$$

VERIFIQUE SE VOCÊ ESTÁ APRENDENDO

Questão:

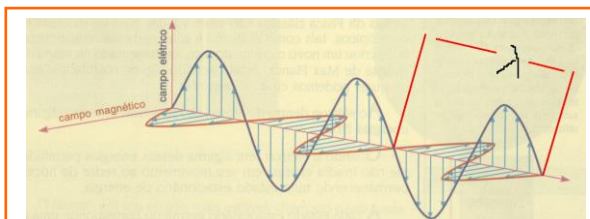
Qual a energia cinética de uma bola de **0,5 kg** com velocidade de **10 m/s** e qual a energia necessária para uma pessoa de **50 kg** dar um salto vertical de **50 cm**

A radiação corpuscular de um modo geral a depender do meio em que interagem quase



Radiação eletromagnética

As radiações eletromagnéticas constituem um modo de propagação de energia em fenômenos tais como ondas de luz, ondas de calor, ondas de rádio, microondas, raios ultravioletas, raios - X, e raios - γ . Estas radiações são chamadas “eletromagnéticas” porque ela primeiro foi descrita, por Maxwell, em termos da oscilação de um campo magnético e um campo elétrico. Como ilustrada na figura abaixo uma onda eletromagnética pode ser representada por uma variação espacial na intensidade de um campo elétrico (E) e um campo magnético (B), que oscilam em planos perpendiculares entre si em qualquer instante dado.



Modelo da onda eletromagnética em um dado instante do tempo

A energia é propagada com a velocidade da luz (3×10^8 m/s no vácuo) na direção Z. As grandezas usadas para a caracterização de uma onda eletromagnética é o comprimento de onda (λ) e a frequência (f).

A relação entre comprimento de onda (λ) e a frequência (f) e a velocidade de propagação (c) é dada por:

$$\lambda f = c$$

onde,

λ = comprimentos em metros (m)

f = frequência em Hertz (Hz)

c = velocidade de propagação da onda em metros por segundo (m/s)

- A velocidade da onda eletromagnética é constante e igual a 3×10^8 m/s (velocidade da luz)
- Quanto maior for o comprimento de onda, menor será a frequência, e vice-versa.

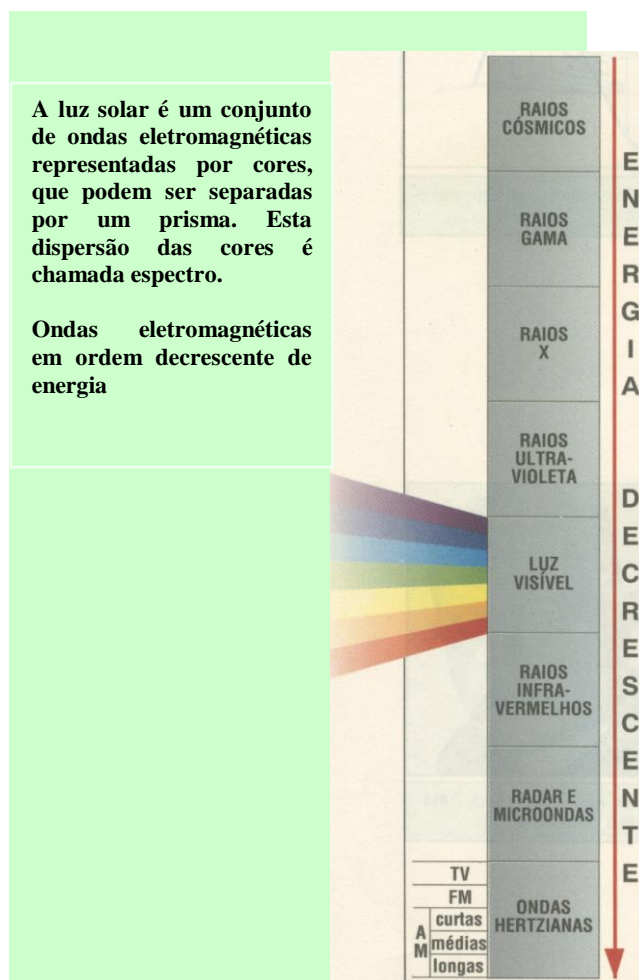
Os comprimentos de onda das radiações eletromagnéticas que serão considerados neste estudo são muitos curtos, sendo, portanto, conveniente expressá-los em unidades menores que o metro:

$$1 \text{ angstrom} = 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ nanômetro} = 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ micrometro} = 1 \text{ \mu m} = 10^{-6} \text{ m}$$

Por exemplo: O comprimento de onda da luz azul é de **4000 Å**; os raios-X que é uma onda eletromagnética têm comprimento de onda **0,1 Å**, o comprimento de onda da luz marrom é **7000 Å**, etc.





A figura ao lado, mostra o espectro das radiações eletromagnéticas com uma faixa de comprimento de onda variando de 10^7 a 10^{-13} .

É interessante notar que apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético constitui a banda de luz visível. O comprimento de onda ao qual o olho humano responde é de 4×10^{-7} (azul) a 7×10^{-7} (vermelho).

Observe também que, quanto menor o comprimento (λ) da onda, maior será a sua frequência (f), logo maior a energia (E) do fóton. Da mesma forma, quanto maior o comprimento (λ) da onda, menor será a frequência (f), logo menor a energia (E) do fóton.

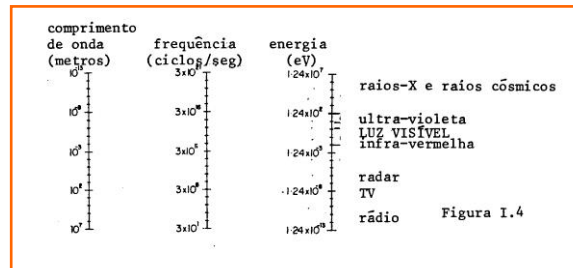
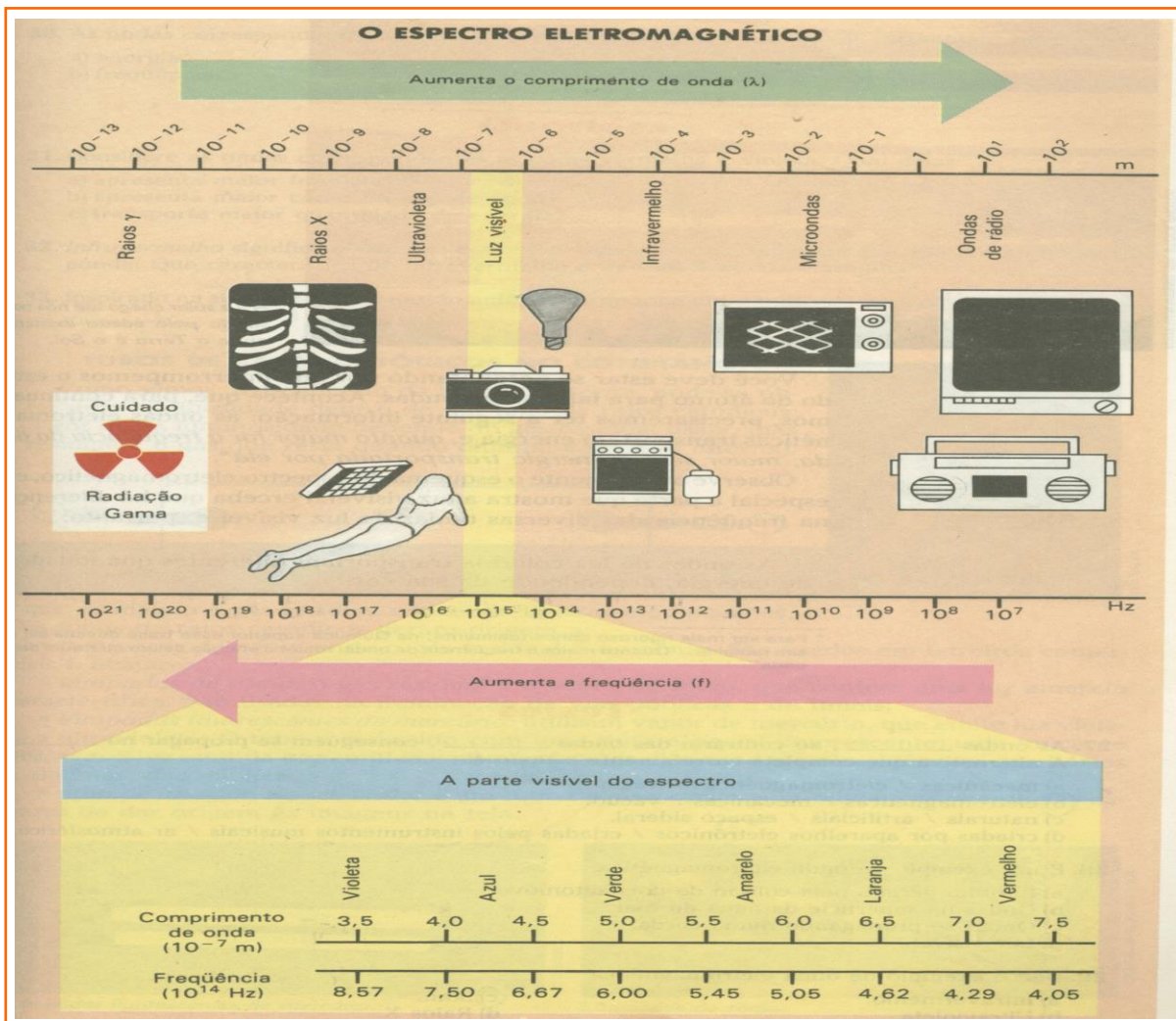


Figura I.4

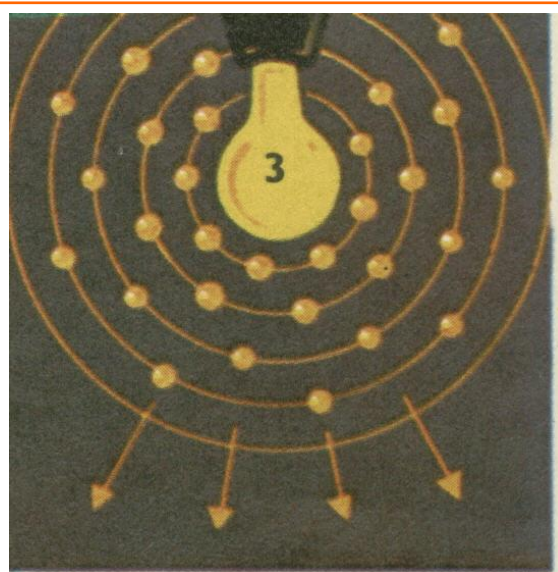
Na figura seguinte podemos ver o espectro eletromagnético relacionando a frequência e o comprimento de onda com as suas energias correspondentes, já que a velocidade de todas as ondas eletromagnéticas é a mesma e que baseado na equação ($v = \lambda \cdot f$) concluímos que o comprimento de onda (λ) e a frequência (f) são inversamente proporcionais:



A natureza da radiação eletromagnética pode ser demonstrada por experimentos envolvendo fenômenos como interferências e difração da luz. Efeitos similares podem ser observados com os raios – X usando cristais, os quais possuem espaços interatômicos comparados ao comprimento de onda de raios – X. Entretanto como o comprimento de onda torna-se muito pequeno e a frequência muito grande, o comportamento das radiações eletromagnéticas, podem ser explicados considerando a natureza quântica da partícula.

Natureza quântica (fotônica) da radiação

Max Planck, em 1901, e Alberto Einstein, em 1905 iniciaram a formulação da “teoria dos quanta”. Segundo essa teoria, a radiação eletromagnética é emitida e se propaga descontinuamente, em pequenos pulsos de energia chamados **pacotes de energia, quanta** ou **fótons**. Assim, a onda eletromagnética apresenta também um caráter corpuscular.



A teoria corpuscular e a teoria ondulatória se fundiram na teoria onda-partícula

Fótons são partículas sem carga e massa de repouso nula.

Planck descobriu que todos os fótons, associados a uma frequência particular f de luz, possuem a mesma energia (E), diretamente proporcional a f . Isto é,

$$E = hf$$

onde,

h = Constante universal, chamada constante de Planck, e vale **6,63 x 10⁻³⁴ J.s.**

A energia (E) também pode ser calculada em função do comprimento (λ). Substituindo-se a frequência (f) dada pela equação acima se obtém.

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Lembrando que, c é a velocidade da luz no vácuo e vale:

$$3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Exemplos:

1- Qual a energia de um fóton de raios-X cujo comprimento de onda é igual a 3×10^{-10} metros (3 \AA)?

Dados:

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

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 3 \times 10^{-10} \text{ m}$$





substituindo na equação

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$E = 6,62 \times 10^{-16} \text{ J}$$

mas, a unidade para esse tipo de energia é em elétron-volt e lembrando que:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

vem

$$E = 4135,5 \text{ eV} = 4,1375 \text{ keV}$$

Assim, quando se emite raios – X de comprimento de onda igual a $3 \times 10^{10} \text{ m}$, a energia emitida associada aos raios – X é sempre um múltiplo inteiro de 4,1375 keV, pois a energia é emitida sob a forma de pacotes com 4,1375 keV.

2- Verifique qual é a frequência desses raios-X:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$f = 10^{18} \text{ Hz}$$

3- Qual é a frequência de uma estação de rádio que transmite com ondas de 300 m? (dado: velocidade da luz = $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{3 \cdot 10^2 \text{ m}} = 10^6 \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda = 10^6 \text{ Hz} = 100 \text{ kHz}$$

VERIFIQUE SE VOCÊ ESTÁ APRENDENDO

Questão

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

Raios – X

Os raios – X são também ondas eletromagnéticas, exatamente como os raios gama, diferindo apenas quanto ‘a origem, pois os raios gama se originam dentro do núcleo atômico, enquanto que os raios – X têm origem fora do núcleo, na desexcitação dos elétrons. Suas características são, portanto, as mesmas da radiação gama

7–Natureza e Características das radiações

Muitas pesquisas foram possíveis graças à descoberta do tubo de raios catódico e da ampola de Crookes. A seguir, apresentaremos, em ordem cronológica, algumas observações realizadas com esses instrumentos e que foram fundamentais para a descoberta da radioatividade:

1) Em 1895, o alemão Wilhelm Conrad Roentgen (1845 – 1923), operando numa sala escura uma ampola de Crookes coberta com papel preto, observou sobre sua mesa um brilho intenso. Verificou que esse brilho vinha de um cartão recoberto por uma substância fluorescente, que brilhava quando excitada pelos raios misteriosos vindos da ampola de Crookes. A esses raios misteriosos Roentgen deu o nome de raios – X.

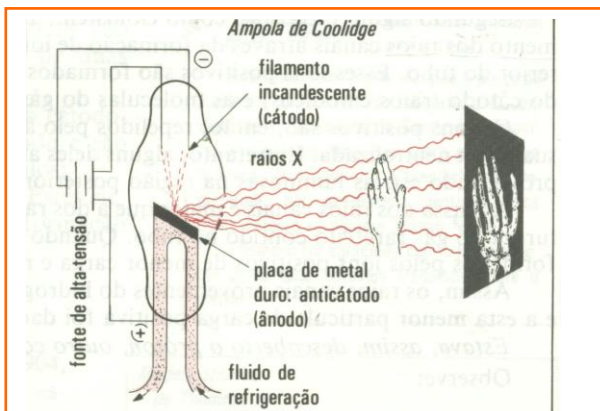




Em 1895 o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios - X, por um acaso fazendo experimentos com raios catódicos

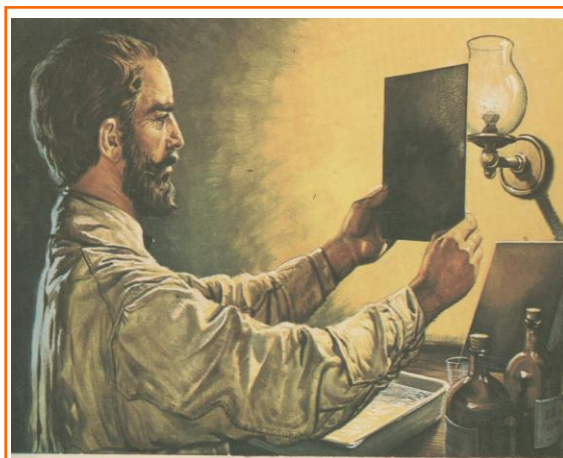
Atualmente, os raios - X são produzidos em uma ampola, conforme o esquema ao lado, denominado ampola de Coolidge.

O filamento incandescente (catodo) emite um feixe de elétrons acelerados (corrente do tubo), os quais, ao se chocarem com o anticatodo (anodo), que é uma placa de metal duro e de elevado número atômica (Cu, W etc), são desacelerados produzindo raios - X.



Ampola de Coolidge e produção de raios - X

2) Em 1896, o físico francês Antoine Henri Bequerel (1852 – 1908) observou que a ampola de Crookes ficava fluorescente ao emitir os raios X, e associou esses raios ao fenômeno da fluorescência. Trabalhando com materiais fluorescentes, notou a existência de raios mais potentes que os raios - X. Esses raios eram devidos à presença dos sais de urânio os quais foi denominado de radioatividade.



Em 1895, o físico francês Henri Bequerel investigou a relação entre os raios - X e o enegrecimento de filmes fotográficos a partir de radiações emitidas por sais de urânio.

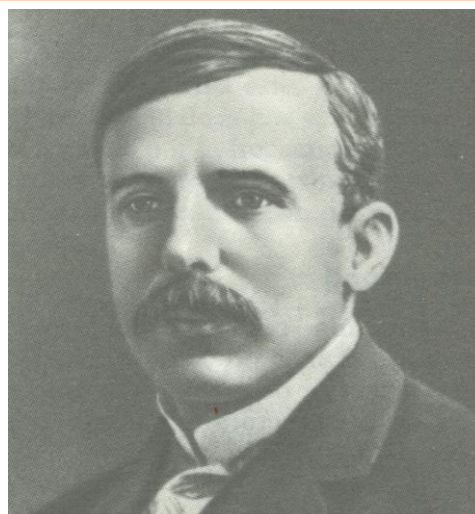
3) Em 1898, o francês Pierre Curie (1859–1906) e a polonesa Marie Curie (1867-1934), trabalhando com a pitchblenda, notaram que mesmo depois de extraído todo o urânio, ela continuava ainda a apresentar grande intensidade de radiações. Analisando sistematicamente então a pitchblenda, conseguiram separar dois novos elementos: o polônio e o rádio. Esses cientistas deram o nome de radioatividade ao fenômeno de emissões de raios penetrantes pelo urânio, polônio e rádio, emissões essas provenientes dos núcleos dos átomos. Os elementos cujos núcleos do átomo emitem radiações foram denominados elementos radioativos.





Em 1898 o casal Marie Sklodowska Curie e seu marido Pierre Curie, após investigações sistemáticas separaram um novo elemento radioativo, o polônio, e em seguida o rádio, de onde foi lançado o termo radioatividade

Em 1909, Rutherford provou que a partícula alfa era um cátion de hélio com carga $+2$ (He^{2+}), cuja massa era aproximadamente 4×1836 maiores que a do elétron. Em 1900, Becquerel mostrou que os raios $-\beta$ eram idênticos aos corpúsculos dos raios catódicos, portanto eram elétrons. Nesse mesmo ano, Villard, na França, descobriu um terceiro tipo de radiação emitida pelas substâncias radioativas, muito semelhantes aos raios $-X$, à qual deu o nome de raio $-\gamma$.



Em 1897 Ernest Rutherford, constatou através do experimento que as radiações emitidas são da fonte eram de três espécies diferentes. α , β , γ

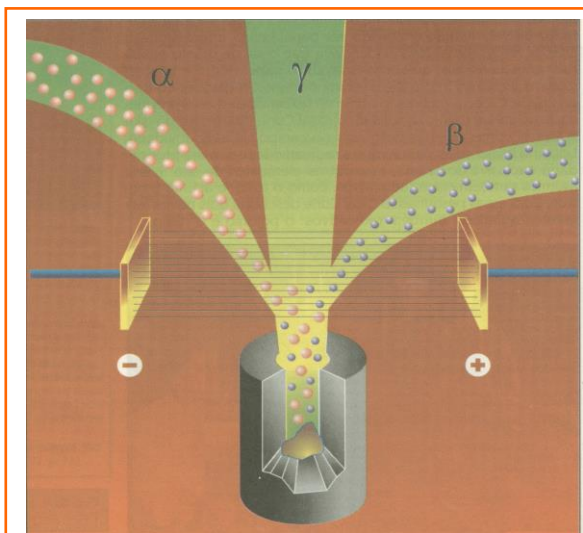
4) Em 1897, o neozelandês Ernest Rutherford (1871 – 1937) um ano após a descoberta da radioatividade, verificou que as radiações emitidas pelo urânio eram de dois tipos, com diferente poder de penetração. As menos penetrantes foram chamadas raios $-\alpha$ e a mais penetrante, raios $-\beta$.

Rutherford verificou também que essas radiações podiam ser separadas sob a ação do campo magnético. Pelo sentido do desvio, Rutherford verificou que os raios $-\alpha$ são positivos e os raios $-\beta$ são negativos.

A experiência que revela mais completamente a natureza da radioatividade é a mostrada na figura seguinte, onde a radiação é dirigida através de um campo elétrico produzido por duas placas paralelas carregadas. O resultado dessa experiência é surpreendente. Um único feixe de radiação é desdobrado em 3 pela ação do campo elétrico. A deflexão (desvio) em direção à placa carregada negativamente indica um feixe carregado positivamente, e a deflexão em direção a placa carregada positivamente indica um feixe carregado negativamente. O feixe que não se desvia não tem carga. Des-



de que as naturezas desses 3 feixes não eram conhecidas naquela época, eles foram simplesmente identificados como raios – α (carga positiva), raios – β (carga negativa), e raios – δ (carga nula).

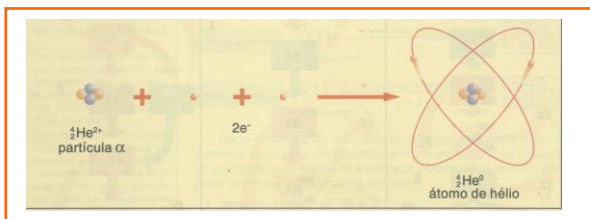


Natureza das radiações nucleares

A importância dessa experiência é que ela revelou que a estrutura dos átomos podia ser alterada, e que alguns átomos encontrados na natureza, especialmente os mais pesados, possuíam núcleos instáveis.

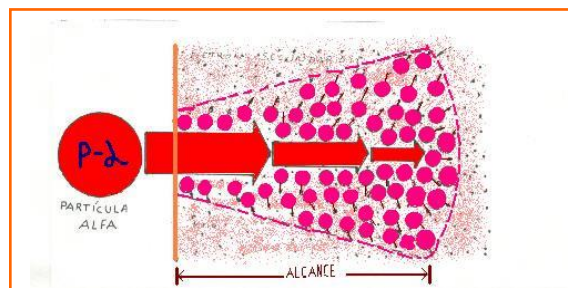
Radiação alfa ou partículas alfa (α)

As partículas alfas são núcleos do átomo de hélio (${}^4_2\text{He}$ $Z=2$, $A=4$), constituídos de dois prótons e dois nêutrons.



A velocidade de emissão da partícula alfa é de 3000 a 30000 km/s. Uma partícula alfa é muito mais pesada que um elétron e sua trajetória num meio material é retilínea

(figura abaixo).



Trajatória e alcance, da partícula alfa no meio

As partículas – α quando interagem com o meio, produzem no meio um número muito grande de ionizações, portanto, na interação de uma partícula alfa com átomos de ar, a partícula alfa perde, em média, 33 eV por ionização. Então, uma partícula alfa com energia cinética inicial de 4,8 MeV, emitida pelo rádio – 226, produz cerca de

$$\frac{4,8 \times 10^6 \text{ eV}}{33 \text{ eV}} = 145\ 000$$

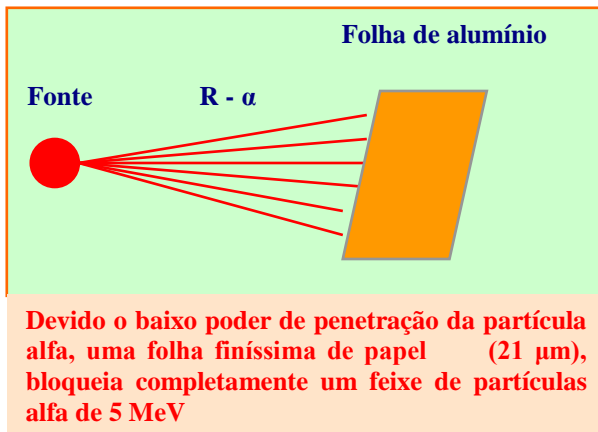
ionizações antes de parar.

Devido a alta ionização específica (número de pares de íons por unidade de comprimento – μm) da partícula alfa, seu alcance (distância que a partícula percorre até parar) é muito pequeno, como pode ser visto na tabela seguinte, o que faz que elas sejam facilmente blindadas. Uma folha finíssima de alumínio de 21 μm barra completamente um feixe de partículas alfa de 5 MeV. Mesmo sem blindagem, a referida partícula alfa não consegue atravessar a pele humana. Entretanto, a ingestão de uma fonte emissora de partículas alfa por uma pessoa poderá causar-lhe danos profundos a certas partes do corpo (figura seguinte).





Energia (MeV)		alcance (cm)	
Partícula alfa	Ar	Tecido humano	Alumínio
1,0	0,55	$0,33 \times 10^{-2}$	$0,32 \times 10^{-3}$
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	$2,10 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-3}$
Partícula Beta	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	0,18	$5,9 \times 10^{-2}$
1,0	420,0	0,50	0,15
2,0	840,0	1,0	0,34
3,0	1260,0	1,50	0,56



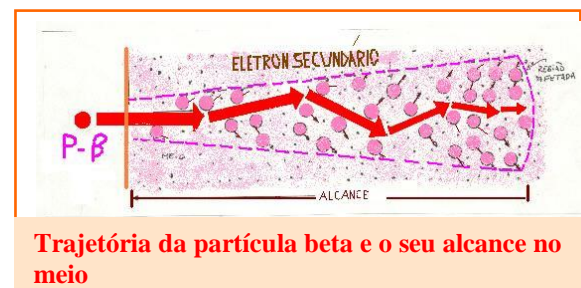
bela acima. Como visto acima o alcance da partícula beta é maior do que o alcance das partículas alfa, mas a ionização específica é menor do que a produzida pela partícula alfa de igual energia.

As partículas alfas são produzidas principalmente nos decaimentos de elementos pesados como urânio, tório, plutônio, rádio etc. Usualmente são acompanhadas de radiação beta e gama.

Devido a massa do elétron ser muito pequena (1/1840 u.m.a.) comparada a massa da partícula alfa, a trajetória da partícula beta é tortuosa devido as forças Coulombianas (figura seguinte)

Radiação beta ou partícula beta (β)

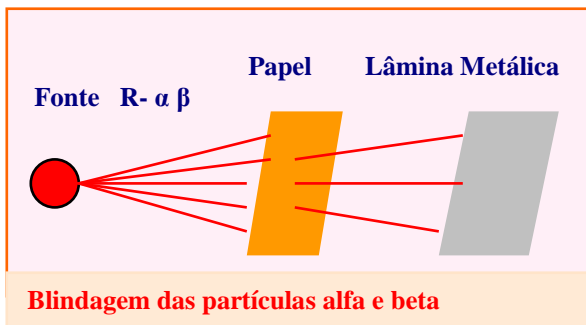
As partículas betas são elétrons (e^-) e pósitrons (e^+ , partículas idênticas ao elétron, exceto no sinal da carga) figura seguinte. As partículas betas são emitidas pelo núcleo do átomo com uma velocidade maior do que cerca de 0,33 c (maior poder de penetração) do que as partículas alfas, como pode ser vista na ta-



A radiação beta, ao passar por um material, também perde energia ionizando os átomos



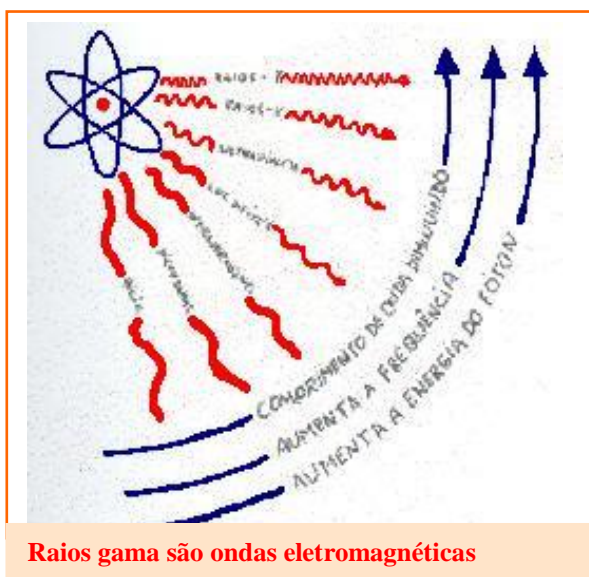
que encontra no caminho. Para blindar as partículas betas pode-se usar plástico ou alumínio (figura seguinte).



As partículas betas são produzidas principalmente nos decaimentos de elementos leves ou intermediários como: estrôncio – 90, Trítio, Carbono-14, Iodo – 131, etc.

Radiação gama ou Raios gama (γ)

Os raios gama são ondas de natureza eletromagnéticas, ou seja, não possuem massa e nem carga elétrica. Os raios gamas (γ) são emitidos pelo núcleo do átomo, sendo extremamente penetrantes (figura seguinte).



Os raios gamas interagem com a matéria pelo o efeito fotoelétrico, pelo o efeito Compton

ou pela produção de pares, e nesses efeitos são emitidos elétrons ou pares elétron-pósitros que, por sua vez, ionizam a matéria.

Os fótons de radiação gama possuem certas probabilidades de passar através de um material sem sofrer nenhuma interação, portanto, não perde energia. Mas, podem também perder toda ou quase toda sua energia numa única interação, e devido a esses fatos não se podem prever a distância que o fóton ou raios gama podem alcançar antes de interagir. Tudo que se pode prever é a distância em que ele tem 50% de chance de interagir. Essa distância se chama Camada Semi-Redutora.

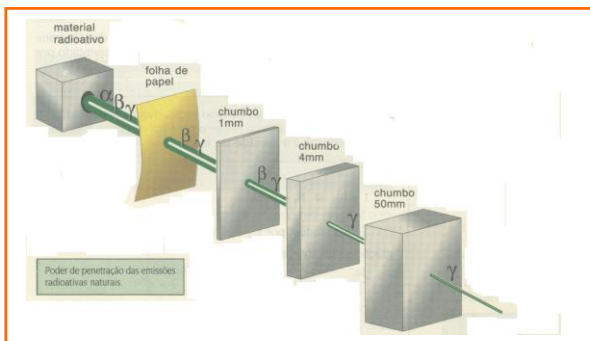
A tabela seguinte dá as camadas semi-redutoras no tecido humano e no chumbo para os raios – X ou raios gama de algumas energias.

Energia (MeV)	Camada Semi-Redutora (cm)	
R-X ou R- γ	Tecido Humano	Chumbo
0,01	0,13	$4,5 \times 10^{-4}$
0,05	3,24	$0,8 \times 10^{-2}$
0,1	4,15	$1,1 \times 10^{-2}$
0,5	7,23	0,38
1,0	9,91	0,86
5,0	23,10	1,44

Para blindagem desse tipo de radiação costuma-se usar chumbo, concreto, aço ou terra. Mas, o chumbo é o metal que oferece maior resistência à penetração das emissões radioativas, isso porque o chumbo tem uma densidade específica maior que a maioria dos materiais.

Como exemplo, podemos dizer que as radiações gama atravessam até 20 cm no aço e até 5 cm no chumbo. A figura seguinte nos mostra um exemplo da penetração nos materiais para as três radiações.

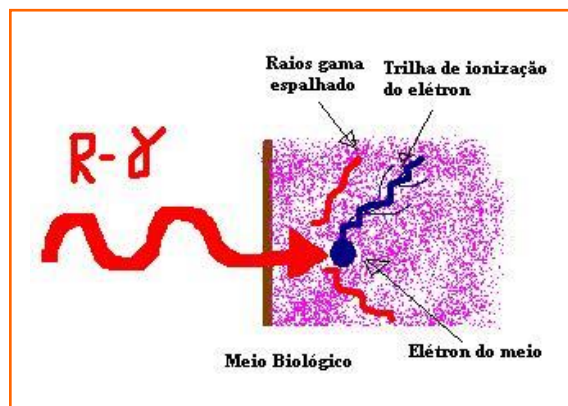




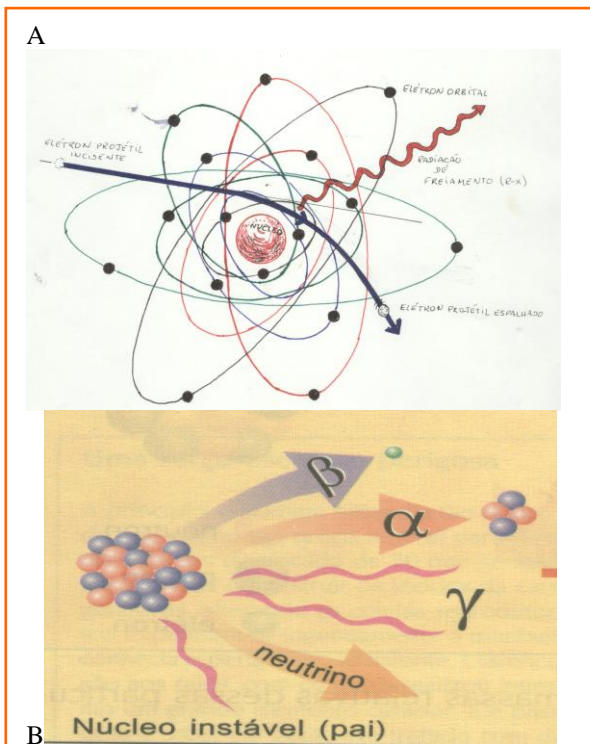
Poder de penetrações das emissões radioativas naturais e os materiais de blindagem mais normalmente usados

Os raios γ e os raios X são também ondas eletromagnéticas, exatamente como os raios gama, diferindo apenas quanto à origem, pois os raios γ se originam dentro do núcleo, enquanto que os raios X tem origem fora do núcleo, na desexcitação dos elétrons. Suas características são, portanto, as mesmas da radiação gama (figura seguinte).

Os raios γ e os raios X , por serem ondas eletromagnéticas (não tem massa e nem carga elétrica) ionizam o meio de forma indireta, por isso, estas radiações são ditas indiretamente ionizantes. Isto porque as radiações γ e X na interação somente transferem energia para os elétrons do meio e estes passam a movimentar-se com energia cinética dentro do meio ionizado figura seguinte.



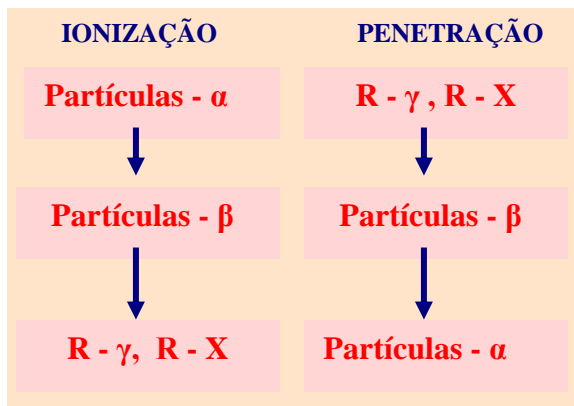
Radiação indiretamente ionizante



**A) Os raios X são produzidos fora do núcleo
B) Os raios γ são produzidos dentro do núcleo do átomo.**

Já as partículas α e as partículas β são ditas radiações diretamente ionizantes, isto porque as próprias partículas ionizam o meio que interagem (obviamente porque as mesmas possuem massa e carga elétrica).

Para concluir o esquema seguinte mostra na ordem, o Poder de ionização e o Poder de penetração das partículas (α, β) e a Radiação (γ, X).





EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1 – Os raios catódicos são:

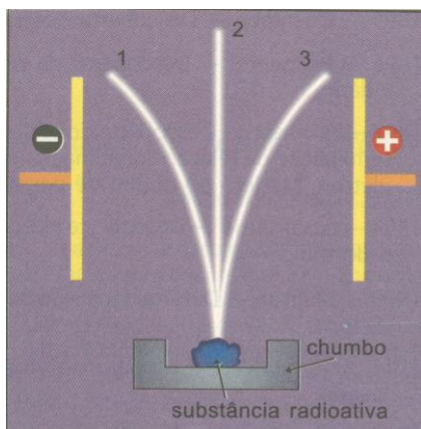
- elétrons
- prótons
- partículas – α
- ondas eletromagnéticas
- nêutrons

2 – Faça a associação seguinte:

- Descobridor dos raios – X
- Descobridor do rádio e do polônio
- Descoberta da radioatividade
- O primeiro a estudar a natureza das radiações emitidas pelas substâncias radioativas

- () Rutherford
 () Becquerel
 () Roentgen
 () Casal Curie

3 – As radiações emitidas pelas substâncias radioativas podem ser separadas sob a ação de um campo elétrico como mostra a figura abaixo:



Nesta, 1, 2, e 3 representam, respectivamente, os raios:

- α , β , e γ
- γ , α e β
- β , γ e α
- α , γ e β
- γ , β e α

4 – Assinale a alternativa na quais as radiações seguintes estão em ordem crescente de comprimento de onda:

- Ultravioleta
- Infravermelho
- Raios – X
- Microondas

- 1, 2, 3, 4
- 3, 1, 2, 4
- 3, 2, 1, 4
- 4, 1, 2, 3
- 4, 2, 1, 3

5 – Assinale a alternativa na quais as radiações seguintes estão em ordem crescente de frequência:

- luz visível
- ondas de TV
- raios gama
- ondas de rádio AM

- 1, 2, 3, 4
- 4, 3, 2, 1
- 3, 1, 2, 4
- 4, 2, 1, 3
- 2, 4, 1, 3

8 – Um bastão carregado positivamente atrai um objeto isolado suspenso. Sobre o objeto é correto afirmar que:

- Necessariamente possui elétrons em excesso.
- É condutor
- Pode estar neutro
- Trata-se de um isolante.
- Está carregado positivamente

9 – Próton e elétron possuem:

- massas iguais e cargas elétricas de mesmo sinal
- massas diferentes e cargas elétricas de mesmo sinal
- massas diferentes e cargas elétricas de sinais opostos
- massas iguais e cargas elétricas de sinais opostos





10-Qual das afirmações é correta, considerando-se o modelo de Rutherford?

- a) O núcleo é a região de menor massa do átomo
- b) Os prótons e os elétrons localizam-se no núcleo
- c) O átomo apresenta, predominantemente, espaço vazio
- d) A região central do átomo é chamada de eletrosfera.

11-Átomos de um mesmo elemento químico não precisa apresentar em comum:

- a) O número atômico
- b) O número de prótons
- c) O número de nêutrons
- d) O símbolo químico

12-Considere um átomo do elemento químico bromo, possuidor de 35 prótons, 46 nêutrons e 35 elétrons. Escreva a representação correta para esse átomo.

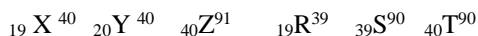
13-Quantos prótons, nêutrons e elétrons apresentam o átomo de ${}_{35}\text{Mn}^{55}$?

14-Considere os seguintes átomos:



- a) Determine o número de prótons, elétrons e nêutrons de cada um deles.

15-Considere os átomos a seguir:



- a) Quais são isótopos?

15-Os três átomos de hidrogênio são tão importantes que acabaram recebendo nomes próprios:



- a) Qual é o nome de cada um deles?
- b) Qual deles não apresenta nêutrons?

16-Qual desses é um exemplo de onda eletromagnética:

- a) Barulho gerado pela colisão de dois automóveis
- b) Ondas na superfície da água do mar
- c) Ondas se propagando numa corda
- d) Luz visível

17-Não é exemplo de onda eletromagnética:

- a) Infravermelho
- b) Ultravioleta
- c) Som
- d) Raios - X

18-As ondas correspondentes às várias cores do espectro da luz visível apresentam mesmo (a)

- a) energia
- b) frequência
- c) comprimento de onda
- d) velocidade no vácuo

19-Considere as ondas correspondentes às cores vermelhas e violeta. Qual delas:

- a) apresenta maior frequência?
- b) apresenta maior comprimento de onda?
- c) Transporta maior quantidade de energia?

20-Infravermelho significa abaixo do vermelho. Consultando o esquema que aparece no texto, responda: Que característica do infravermelho é inferior à da luz vermelha?

21-Escreva a distribuição das camadas eletrônicas do elemento ${}_{26}\text{Fe}^{56}$

22-O átomo constituído de 17 prótons, 18 nêutrons e 17 elétrons apresentam, respectivamente, número atômico e número de massa igual a:

- a) 17 e 17
- b) 17 e 18
- c) 18 e 17
- d) 17 e 35
- e) 35 e 17





23-O número atômico de determinado átomo é conhecido. Para se determinar seu número de massa, é preciso conhecer-se também o número de:

- a) Avogadro
- b) elétrons
- c) nêutrons
- d) oxidação
- e) prótons

24-Complete as lacunas de forma a deixar o texto correto.

Átomos de mesmo elemento químico têm sempre o mesmo número de _____ e, portanto, o mesmo número _____.

- a) massa / de nêutrons
- b) nêutrons / atômicos
- c) prótons / atômicos
- d) elétrons / de massa
- e) elétrons / de nêutrons

25-Dados genericamente três elementos:



- a) A e B são isótopos
- b) B e C são isótopos
- c) A e C são isótopos
- d) A e B são isóbaros
- e) B e C são isóbaros

26-A densidade da água comum (H_2O), e da água pesada (D_2O), medidas nas mesmas condições de pressão e temperatura, são diferentes. Isso porque os átomos de hidrogênio e Deutério diferem quanto ao:

- a) número atômico
- b) número de elétrons
- c) numero de nêutrons
- d) número de oxidação
- e) número de prótons

27-O elemento cujo átomo tem o maior número de elétrons em sua camada mais externa é aquele cujo número atômico é

- a) 10
- b) 17
- c) 20
- d) 37
- e) 40

28-Relacione as colunas I e II:

- a) Paul Villard () raios – X
- b) Mme. Curie () raios do urânio
- c) Roentgen () raios γ
- d) Becquerel () polônio

29-Relacione as colunas I e II

- a) partícula – α () elétron
- b) raios – γ () elemento radioativo
- c) partícula – β () Onda eletromagnética
- d) rádio () 2 prótons 2 nêutrons

30-O que deve ocorrer para que um elétron salte de sua órbita para outra mais afastada do núcleo?

31-O que ocorre quando um elétron excitado volta a sua órbita de origem?

32-Explique como são formados os raios catódicos.

33-Dê a constituição das partículas alfa e beta

34-Das três radiações alfa, beta e gama, qual é a mais penetrante?

35-Quais são as propriedades dos raios catódicos?

36- Qual das radiações alfa, beta e gama são mais penetrantes no meio?

37-Qual das radiações alfa, beta e gama têm maior ionização específica no meio?

38-Qual das radiações tem um maior alcance no ar?

39-Qual a diferença entre os raios – X e os raios gama?

40-Escreva a s equações para calcular a energia dos fótons e a energia das partículas alfa e beta.

41- Represente o modelo atômico de Ernest Rutherford.






ASPR

ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE

Capítulo - 2

Desintegração Radioativa do Núcleo (Radioatividade)






Assuntos

ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE

1. Considerações gerais
2. Estrutura da matéria
3. Desintegração radioativa do núcleo
4. Interação da radiação com a matéria

Rua Paulo Portela, nº 90 - Bairro Castália - C. 06028-194 - Itabuna/Bahia
Fone contato: (73) 99191 - 1119 ; E-mail: aspronline@hotmail.com

 www.aspronline.wix.com/aspronline ;  www.facebook.com/asprcq 





DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA DO NÚCLEO DO ÁTOMO

1 – Considerações Gerais

Como estudamos antes, os átomos e seus constituintes são as menores partes da matéria. Os átomos têm o núcleo formado pelos prótons (carga elétrica positiva) e os nêutrons (sem carga elétrica) e a eletrosfera com os seus elétrons (com cargas elétricas negativas) distribuídos em camadas girando ao redor do núcleo.

Os átomos que tem os mesmos números atômicos (Z), mas, diferentes números de massas são chamados de isótopos. Estes podem ser estáveis e instáveis

Nos dias atuais existe um total de 105 elementos conhecidos dos quais os 92 primeiros [Hidrogênio (H) Z=1 a Urânio (U) Z=92] são naturais, isto é, são encontrados na natureza e os elementos restantes 13 [Netúnio (Np) Z=93 a Hâhnio (Há) Z=105] são produzidos artificialmente. A seguir temos a tabela periódica com todos os elementos com os seus números atômicos organizados em ordem crescente.

ELEMENTOS REPRESENTATIVOS - BLOCO s										ELEMENTOS REPRESENTATIVOS - BLOCO p																									
I - A										0																									
1	H									2	He																								
1s ¹										1s ²																									
II - A										III - A		IV - A		V - A		VI - A		VII - A																	
3	Li	4	Be									5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne												
2s ¹		2s ²										2p ¹		2p ²		2p ³		2p ⁴		2p ⁵		2p ⁶													
III - B		IV - B		V - B		VI - B		VII - B		VIII - B		I - B		II - B																					
11	Na	12	Mg	ELEMENTOS DE TRANSIÇÃO - BLOCO d										13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar										
3s ¹		3s ²												3p ¹		3p ²		3p ³		3p ⁴		3p ⁵		3p ⁶											
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr*	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu*	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
4s ¹		4s ²		3d ¹		3d ²		3d ³		3d ⁴		3d ⁵		3d ⁶		3d ⁷		3d ⁸		3d ⁹		3d ¹⁰		4p ¹		4p ²		4p ³		4p ⁴		4p ⁵		4p ⁶	
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb*	42	Mo*	43	Tc	44	Ru*	45	Rh*	46	Pd*	47	Ag*	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
5s ¹		5s ²		4d ¹		4d ²		4d ³		4d ⁴		4d ⁵		4d ⁶		4d ⁷		4d ⁸		4d ⁹		4d ¹⁰		5p ¹		5p ²		5p ³		5p ⁴		5p ⁵		5p ⁶	
55	Cs	56	Ba	ELEMENTOS DE TRANSIÇÃO INTERNA - BLOCO f										81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn										
6s ¹		6s ²												6p ¹		6p ²		6p ³		6p ⁴		6p ⁵		6p ⁶											
87	Fr	88	Ra	104	Unq	105	Unp	106	Unh	107	Uns	108	Uno	109	Une																				
7s ¹		7s ²																																	
LANTANÍDIOS (TERRAS RARAS)		ACTINÍDIOS																																	
57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71							
La*		Ce*		Pr		Nd		Pm		Sm		Eu		Gd*		Tb		Dy		Ho		Er		Tm		Yb		Lu							
4f ¹		4f ²		4f ³		4f ⁴		4f ⁵		4f ⁶		4f ⁷		4f ⁸		4f ⁹		4f ¹⁰		4f ¹¹		4f ¹²		4f ¹³		4f ¹⁴		4f ¹⁴							
89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103							
Ac*		Th*		Pa*		U*		Np*		Pu		Am		Cm*		Bk		Cf		Es		Fm		Md		No		Lr							
5f ¹		5f ²		5f ³		5f ⁴		5f ⁵		5f ⁶		5f ⁷		5f ⁸		5f ⁹		5f ¹⁰		5f ¹¹		5f ¹²		5f ¹³		5f ¹⁴		5f ¹⁴							

Subníveis de maior energia da distribuição eletrônica pela regra do *aufbau*. Os elementos assinalados com asterisco (*) não seguem essa regra.

As propriedades dos elementos são uma função periódica de seus números atômicos



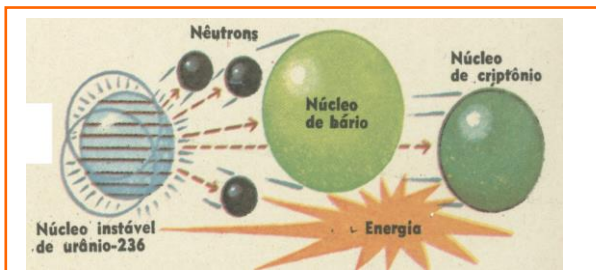
Em geral, os elementos com números atômicos baixos ($Z < 82$) tendem a ser estáveis, portanto, não são radioativos. Já os elementos com números atômicos altos ($Z > 92$) tendem a ser instáveis, ou seja, radioativos e se desintegram, passando de um núcleo a outro, através de uma série, até se transformar num isótopo estável de chumbo.

Os núcleos dos isótopos instáveis por serem radiativos são chamados de radioisótopos ou radionuclídeos.

A produção dos radioisótopos artificiais que hoje são produzidos em grandes quantidades, para uso em pesquisas nas diversas áreas da Ciência, na Medicina, na Agricultura e na Indústria são produzidos em reatores nucleares e aceleradores de partículas.

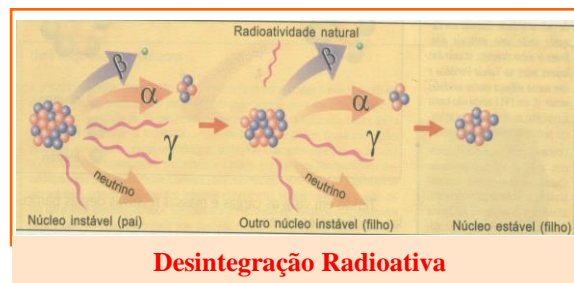
2 - Radioatividade

Para compreendermos melhor o evento da radioatividade natural temos que entendermos o que ocorre no núcleo dos átomos que são considerados instáveis. No núcleo desses átomos, as partículas nucleares (prótons e nêutrons) estão em movimento contínuo (i.e. níveis energéticos excitados) ocasionando colisões e transferências de energia entre uma partícula e outra. Então quando estas partículas dentro do núcleo adquirem energia suficiente para vencer a força nuclear que as mantém presa no núcleo, estas liberam energia para se estabilizar na forma de radiação. A esse fenômeno chamamos de Desintegração Nuclear ou Decaimento Radioativo.



Desintegração nuclear

A radioatividade, portanto, é a emissão espontânea de partículas e/ou radiações dos núcleos instáveis chamados de núcleo pai e que ao se desintegrar transformam-se em um outro núcleo chamado núcleo filho. Em certos casos o nuclídeo filho também é radioativo, o qual poderá continuar decaindo em uma longa série, até se transformar num isótopo estável de chumbo.



3 – Séries Radioativas

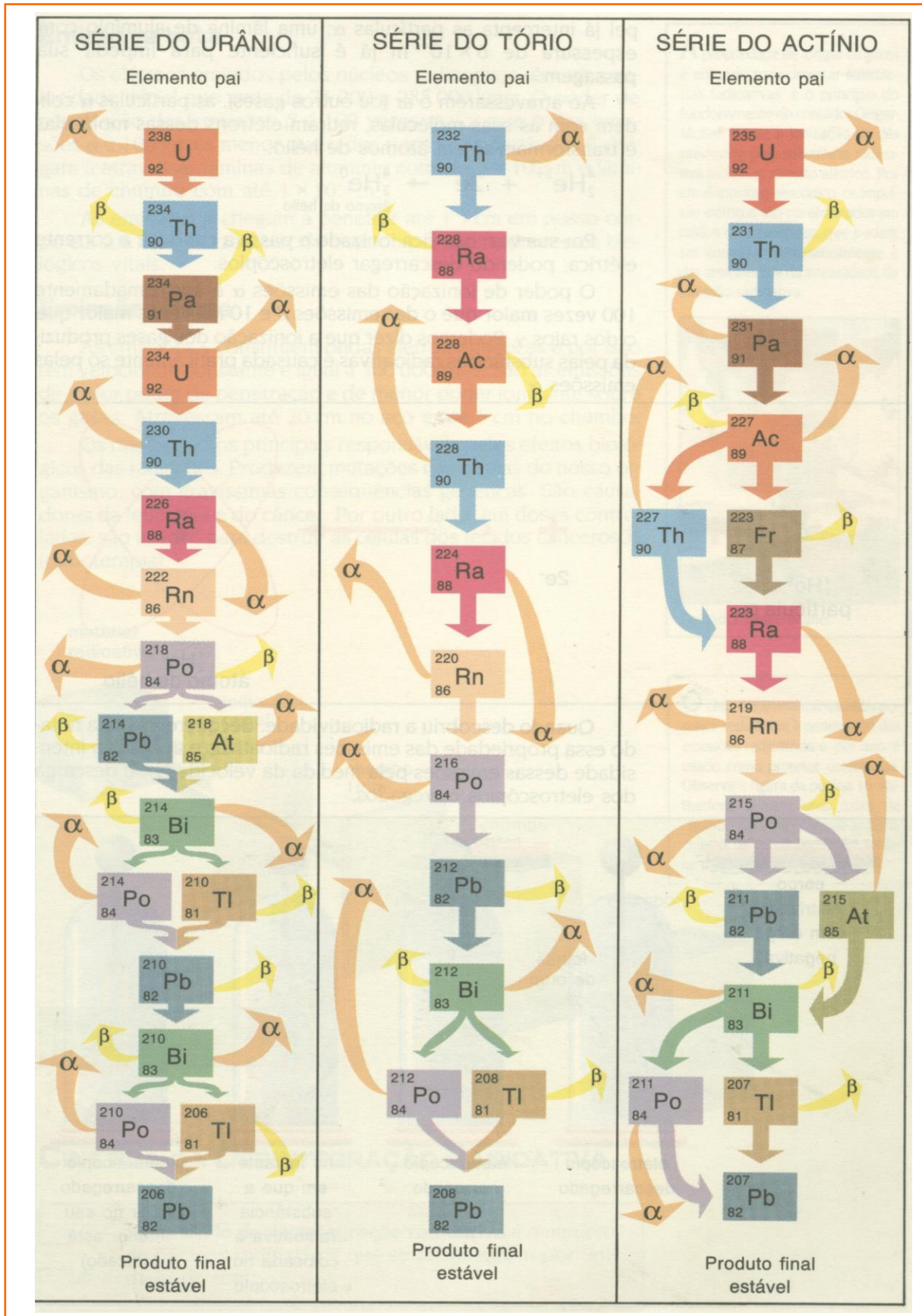
Soddy verificou que os elementos radioativos naturais podiam ser reunidos em três séries, cada um com um determinado elemento-pai. Soddy organizou então as três séries radioativas naturais, que continham todos os isótopos radioativos naturais conhecidos na época. Essas séries são:

- Série de Urânio, cujo elemento-pai é o isótopo ${}_{92}\text{U}^{238}$.
- Série de Tório, cujo elemento-pai é o isótopo ${}_{90}\text{Th}^{232}$.
- Série do Actínio, cujo elemento-pai é o isótopo ${}_{92}\text{U}^{235}$.

A partir dos elementos-pai citados, através da emissão de sucessivas partículas α e β , formam-se muitos isótopos radioativos, até chegar num isótopo estável de chumbo (figura seguinte).

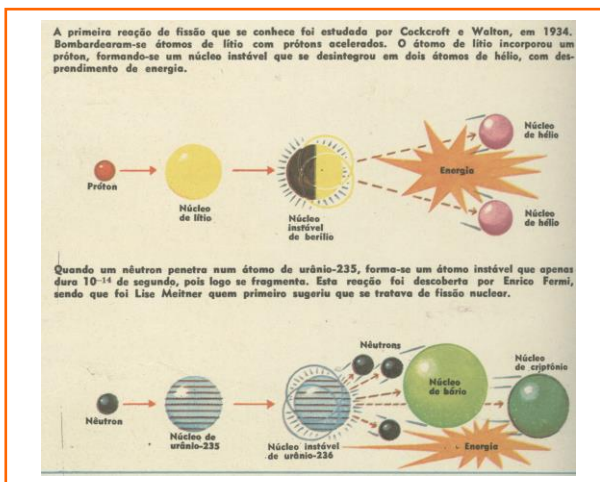
Exemplos: Decaimento radioativo nas três famílias Urânio, Tório e Actínio.





Como dissemos antes, a radioatividade pode ser de forma natural ou artificial:

- Radioatividade natural é quando isótopos instáveis (Urânio, rádio, Polônio, Tório, etc) já existentes na natureza, emitem radiações espontaneamente sem necessidade de nenhuma preparação humana.
- Radioatividade artificial é quando isótopos estáveis (Cobalto – 60, Césio – 137, Estrôncio – 90, Iodo – 131, etc.) tem o seu núcleo, bombardeado por partículas vindas de reatores nucleares ou aceleradores lineares de alta energia, estes ficam instáveis e emitem radiações.



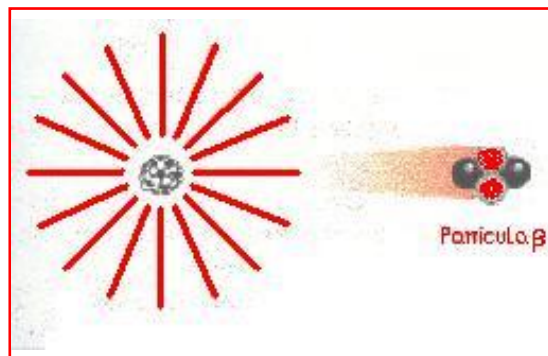
Núcleos instáveis ao serem bombardeados por partículas estes se alteram emitindo radiações

Emissão – β e Emissão – γ .

Como regra, um núcleo radioativo natural emite uma partícula α ou uma partícula β ; a emissão simultânea das duas partículas é uma exceção. Após a emissão da partícula α ou β forma-se um novo núcleo em estado excitado ou ativado. Ao passar para o estado fundamental (estado de menor energia), o núcleo emite energia sob a forma de radiação gama (raio gama).

Decaimento com emissão de partícula alfa (α)

- 1) Quando o número de prótons no núcleo do átomo é superior a 82 ($A > 150$), a força Coulombiana de repulsão torna-se maior que a força nuclear que mantém unido o nucleon (núcleo instável). Com o núcleo instável, esta procura se estabilizar emitindo uma partícula alfa (núcleo do átomo de hélio).



- 2) Com o decaimento alfa o número atômico (Z) é reduzido de 2 unidades e o número de massa (A) é reduzido de 4 unidades:



Exemplo:



4 – Principais Processos de Decaimento Radioativo

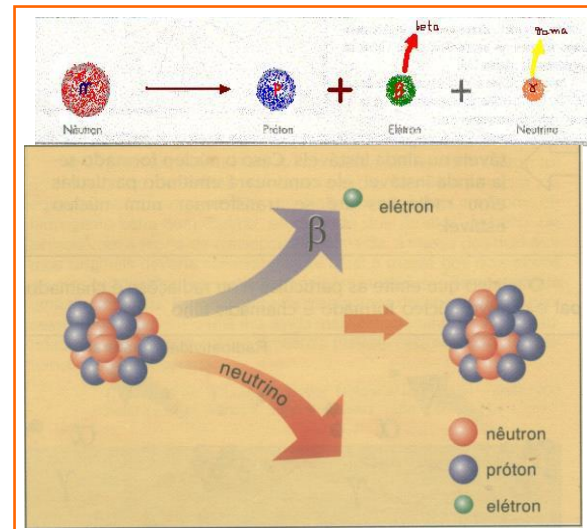
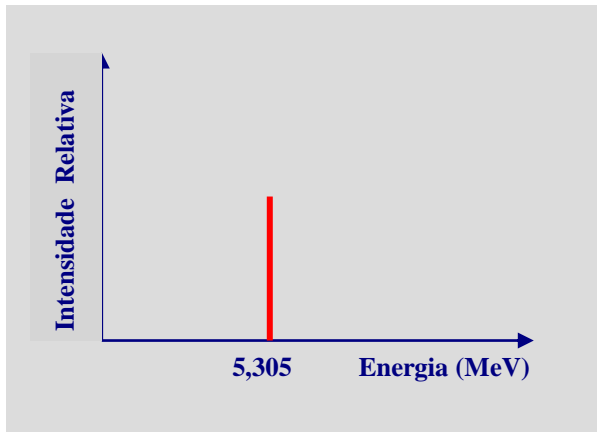
O material radioativo em busca da estabilidade de seu núcleo desintegra-se por inúmeros processos de decaimento dos quais 3 são os mais importantes: Emissão – α ,





- 3) As partículas alfas emitidas possuem energias características e discretas (figura seguinte).

Exemplo: Espectro de energia da partícula alfa emitida pelo Pó-210 (polônio).



Um nêutron se desintegra dando origem em um próton, emitido uma partícula – β e um neutrino

- 3) Quando um núcleo radioativo emite uma partícula – β (elétron) decaindo o número atômico (Z) é aumentado de uma unidade e o número de massa (A) não altera.

Decaimento com emissão de partícula beta (β)

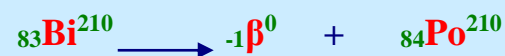
- 1) Quando um núcleo instável apresenta um excesso de nêutrons comparados aos de prótons, este alcança a estabilidade transformando dentro do núcleo, um nêutron em um próton, seguido da emissão de uma partícula beta (β^- negatron) e um neutrino. Partícula sem carga elétrica e de massa desprezível (figura seguinte).

A emissão da radiação beta é um processo mais comum entre os núcleos leves ou de massa intermediária que possuem um excesso de nêutrons ou de prótons em relação a estrutura estável correspondente.

- 2) A partícula beta negativa é uma partícula que tem a mesma massa de repouso de um elétron atômico e unidade de carga elétrica negativa.



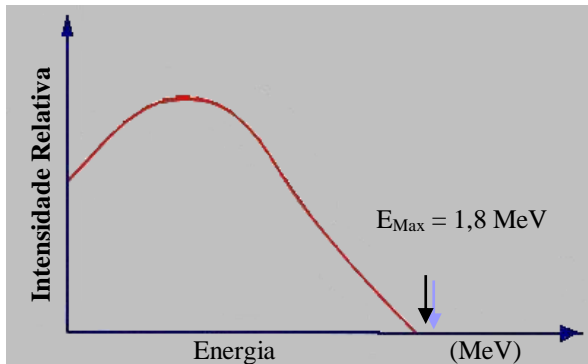
Exemplo



Existem 3 formas de emissão β : β^- , β^+ , EC, o núcleo apresenta um excesso de prótons e emite uma partícula β^+ chamado pósitron, que é a antipartícula do elétron.

Diferentemente das partículas α , observou-se que as partículas β negativas, de núcleos idênticos, são emitidas com continuidade de energia, variando de zero até uma energia máxima característica do núcleo pai. **Por exemplo:** Espectro contínuo de energia da partícula beta emitida pelo isótopo P-32 (fósforo).



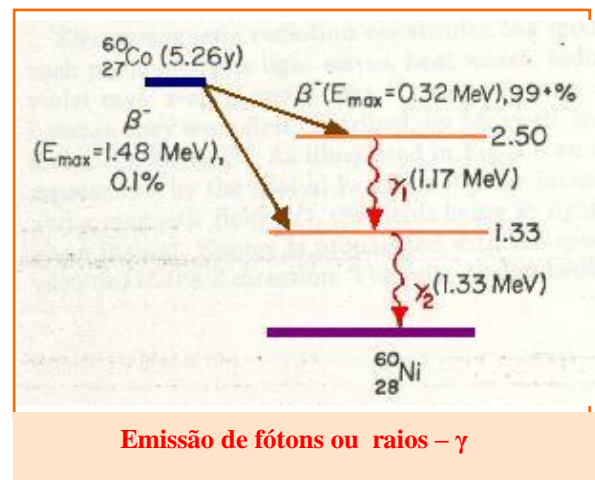


por um tempo razoavelmente longo, porque a velocidade de sua transformação para emissão γ . Em todos os casos, a emissão se destina à liberação do excesso de energia do núcleo dos átomos instáveis.

Por exemplo: O espectro de energia dos raios gama do isótopo cobalto-60, apresenta a emissão discreta de dois fótons com energia de 1,17 MeV e 1,33 MeV, e cuja média 1,25 MeV é considerada a energia média do isótopo do Co-60 (figura seguinte).

Decaimento com emissão de fótons–gama (γ)

- 1) Geralmente após a emissão de uma partícula – α ou partícula – β , o núcleo filho resultante pode ainda permanecer excitado, tais núcleos emitem o excesso de energias na forma de fótons chamado de raios gama (γ) figura seguinte.

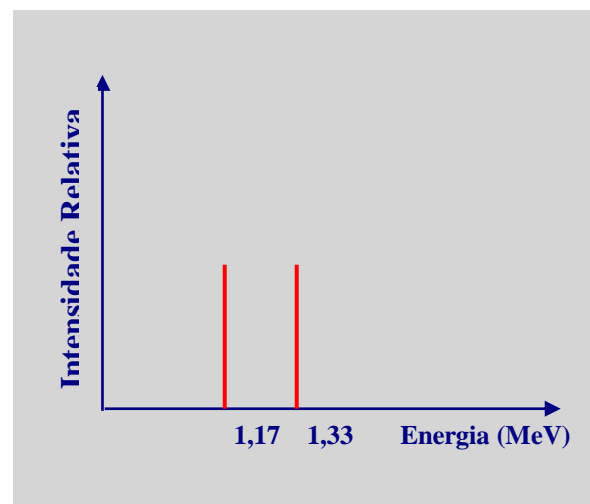


- 2) Com a emissão gama, o núcleo apenas rearranja seus núcleons, não altera seu número atômico (Z) e nem seu número de massa (A).

Exemplo



- 3) A emissão de raios – γ ocorre em seguida à emissão de partículas α ou β . Nos núcleos denominados metaestáveis (núcleos instáveis que permanecem nessa situação





5 – Leis do Decaimento Radioativo

Uma amostra radioativa contém muitos átomos e não é possível prever quando um dado átomo irá se desintegrar. O processo de desintegração nuclear é de natureza estatística. Portanto o que se pode afirmar é que o número (N) de átomos que se desintegram num dado intervalo de tempo (t) é proporcional ao número de átomos radioativos presentes na amostra, ou seja:

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

Onde,

K – é uma constante de proporcionalidade chamada de “**Constante de Decaimento**” e significa a probabilidade de um átomo se desintegrar na unidade de tempo

- O sinal negativo (-) significa que o número (N) de átomos radioativos **decrece com o tempo**
- Cada desintegração reduz o número de átomos no núcleo

Integrando-se a derivada anterior, obtemos a equação que representa a Lei do decaimento radioativo exponencial e é dada por:

$$N = N_0 e^{-kt}$$

Onde,

N – é o número de átomos restantes após um intervalo de tempo (t)

N_0 - é o número de átomos presentes no instante inicial da desintegração

e - é base dos logaritmos naturais ou neperiano

t – é o tempo decorrido

6 – Atividade (A) de uma Amostra Radioativa

Igualmente em uma amostra de material radioativo qualquer, o número de átomos que se desintegram por unidade de tempo ($-dN/dt$) é definido como atividade (A) radioativa.

A velocidade de desintegração dos átomos é a própria atividade da amostra e esta pode ser expressa por:

$$A = A_0 e^{-kt}$$

Onde,

A – é a atividade depois de decorrido um tempo t

A_0 – Atividade num instante inicial





Recordando o conceito de logaritmo

$a^x = y \Rightarrow \log_a y = x$ (quando não há indicação da base (a), significa que $a = 10$ e o logaritmo é decimal).

$$\begin{aligned} 10^0 &= 1 && \rightarrow \log 1 = 0 \\ 10^1 &= 10 && \rightarrow \log 10 = 1 \\ 10^3 &= 1000 && \rightarrow \log 1000 = 3 \\ 10^{-2} &= 0,01 && \rightarrow \log 0,01 = -2 \\ 2^3 &= 8 && \rightarrow \log_2 8 = 3 \\ 3^4 &= 81 && \rightarrow \log_3 81 = 4 \end{aligned}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ mCi} = 3,7 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 3,7 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$$

Em 1975, a Comissão Internacional de Unidades e Medidas Radiológicas (ICRU) recomendou o uso do Becquerel (**Bq**) como unidade de atividade no Sistema Internacional de Unidades, definido como 1 desintegração por segundo:

7 – Unidades da Atividade

Até recentemente a unidade padrão da atividade radioativa foi o Curie (Ci) que corresponde a atividade de uma amostra que dá lugar a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo, sendo seus submúltiplos o milicurie e micro Curie.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

Unidades para expressar a atividade numa amostra de material radioatividade

Nome	Símbolo	Tamanho	Razão de desintegração	Definição
Curie	Ci	-	$3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$	<ul style="list-style-type: none"> Fonte para radiografia.
miliCurie	mCi	10^{-3} Ci	$3,7 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$	<ul style="list-style-type: none"> Terapia com Cs-137 e outros isótopos radioativos
microCurie	μCi	10^{-6} Ci	37000 s^{-1}	<ul style="list-style-type: none"> Pesquisa e diagnóstico em medicina nuclear
picoCurie	pCi	10^{-12} Ci	$2,2 \text{ min}^{-1}$	<ul style="list-style-type: none"> Quantidade freqüentemente medida em amostra de sangue





8 – Meia Vida Física ($T_{1/2}$)

Apesar de pouco se saber dizer a respeito de um átomo instável individual, é possível estudar completamente, num sentido estatístico, uma coleção de muitos átomos instáveis. Em média, pode-se dizer que após um dado intervalo de tempo, chamada meia-vida, a metade dos núcleos ter-se-ão desintegrado. Na próxima meia-vida, a metade restante irá sofrer mais um decaimento. Portanto, a meia-vida física ($T_{1/2}$) de um isótopo é definida como o “Tempo necessário para que o número inicial (N_0) de átomos radioativos decaia a metade do seu valor inicial”, e é representada por:

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

ou

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{k}$$

onde,

k – é a constante radioativa e quanto maior for a constante radioativa menor será a meia-vida física do radioisótopo

Um radioisótopo com uma meia-vida longa decai mais lentamente que aquele com uma meia vida curta.

A meias-vidas dos radioisótopos varia desde um segundo até os muitos milhões de anos. Entretanto, a meia-vida dos radioisótopos com aplicação na biologia deve estar dentro

de um certo intervalo de tempo limitado. Por exemplo, a meia-vida do $^{131}_{53}\text{I}$, usado no estudo do funcionamento da tireóide são 8 dias, enquanto que a do ^{15}O empregado na investigação respiratória, é de 2,1 minutos e a do ^{14}C , utilizado na pesquisa de comportamento metabólico de proteínas, açúcares e gordura é de 5760 anos.

Abaixo temos a curva da desintegração radioativa ou curva do decaimento radioativo. Note que a cada intervalo de tempo igual á meia-vida ($T_{1/2}$), o número de núcleos radioativos se reduz à metade do inicial.

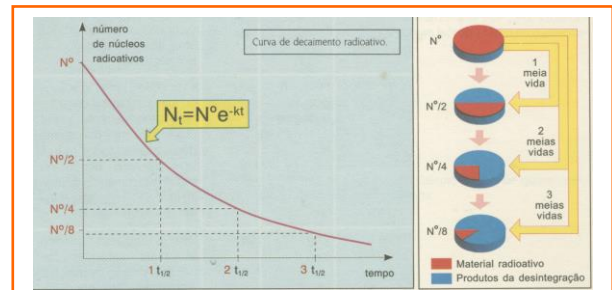


Gráfico do decaimento exponencial de uma fonte radioativa e sua meia vida física

Exemplo:

Seja uma fonte de ouro radioativo (Au^{198}), inicialmente, com 100×10^6 átomos. Sua meia-vida é de 2,7 dias. Portanto, passados 2,7 dias, a fonte radioativa terá 50×10^6 átomos; após $2 \times 2,7$ dias 25×10^6 átomos; após $3 \times 2,7$ dias $12,5 \times 10^6$ átomos e assim por diante. Faça um gráfico com os dados acima referidos.

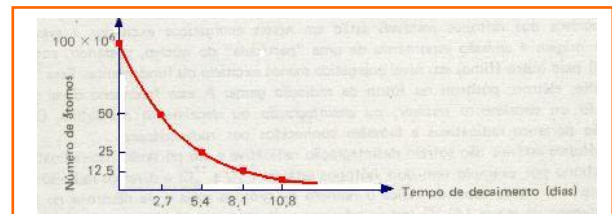


Gráfico de decaimento exponencial de uma fonte de Au^{198} radioativa, com escalas lineares





Como já foi dito antes, o tipo de curva do exemplo apresenta um decaimento exponencial com o tempo. O fato de a desintegração radioativa seguir a lei exponencial é uma indicação de que tal fenômeno é de natureza estatística: Cada núcleo em uma amostra de material radioativo possui certa probabilidade de se desintegrar, mas não há meios de se conhecer, antecipadamente, qual núcleo se desintegrará num certo intervalo de tempo.

Se os mesmos dados do exemplo anterior forem colocados num papel de gráfico semilogarítmico em que a escala vertical é logarítmica e a horizontal linear, em vez de se obter uma curva, obter-se-á uma reta (figura seguinte).

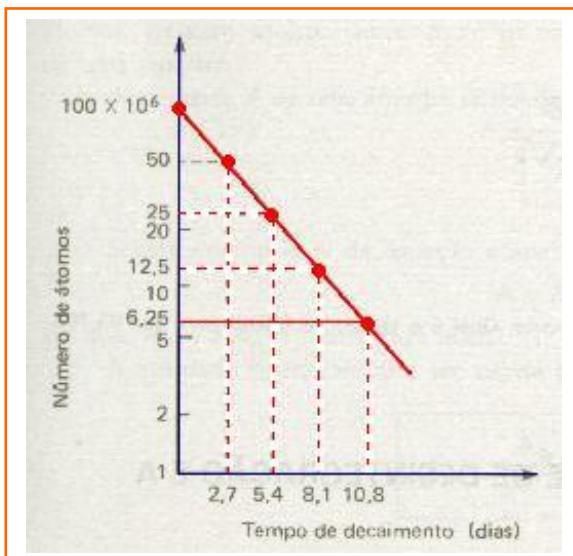


Gráfico do decaimento exponencial de uma fonte de Au¹⁹⁸ radioativo com escala de tempo linear e escala do número de átomos logarítmico (gráfico semilogarítmico)

Observe que nos gráficos acima a primeira $T_{1/2}$ tem $N_0/2 = 50\%$, e para a segunda $T_{1/2}$ tem $N_0/4 = 25\%$, e para a terceira $T_{1/2}$ tem $N_0/8 = 12,5\%$, e assim sucessivamente.

Exemplos de alguns radioisótopos e suas meias vidas com suas aplicações:

Radioisótopo	Meia-Vida	Aplicação
Co-60	5,261 anos	Radioterapia
Cs-137	30,3 anos	Radioterapia
Sr-90	29,9 anos	Radioterapia
Tc-99m	6 horas	Medicina Nuclear
I-131	8 dias	Medicina Nuclear
P-32	14,3 dias	Medicina Nuclear
In-113m	1,7 horas	Medicina Nuclear
Ir-192	75 dias	Radioterapia
Tm-170	130 dias	Radiografia Ind.

9 – Meia Vida Biológica (T_B)

Consideramos como meia vida biológica (T_B) de um radioisótopo é o “Tempo que é gasto para que o elemento (radioativo ou não) ingerido pelo o organismo elimine por vias normais, a metade da quantidade inicial”.

10 – Meia Vida Efetiva (T_E)

A dose de radiação recebida por um órgão, quando nele existe um material radioativo agregado, depende da meia-vida física e meia – vida biológica. O resultado de ambas nos dá à meia-vida efetiva, ou seja, o tempo em que a exposição à radiação desse órgão ou tecido fica reduzido à metade.

$$T_E = \frac{T_{1/2} \cdot T_B}{T_{1/2} + T_B}$$





A meia vida efetiva é normalmente menor que a meia-vida física; os seus valores poderão se aproximar quando a meia-vida biológica tiver um valor bem grande.

11-Vida Média (\bar{T})

Considere uma fonte de ouro radioativo, com a atividade inicial de 300 desintegrações por segundo, cujo decaimento exponencial é apresentado pela figura seguinte. O número total de desintegrações da fonte é dado pela soma N_0 de todos os seus átomos, que pode ser obtida calculando-se a área sob a curva exponencial desde o tempo de decaimento igual à zero até o infinito.

A vida-média de uma amostra radioativa é considerada como sendo a razão da soma dos tempos gastos que cada átomo da amostra levaria para se desintegrar dividido pelo número total de átomos da amostra, e é dada por:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda}$$

A relação entre a meia-vida física e a vida média é dada por:

$$\bar{T} = \frac{1}{\ln 2}$$

ou

$$\bar{T} = 1,44 T_{1/2}$$



*Somente estudando você
sobe na vida, pois sem
sacrifício você não chega
a lugar nenhum.*





42-O que se entende por átomos isótopos?

43-Complete as lacunas de forma a deixar o texto correto.

Elementos com números atômicos baixos tendem a ser _____ e, portanto,

_____radioativos.

- a) estáveis / são
- b) estáveis / não são
- c) instáveis / não são
- d) instáveis / são
- e) elevados / são

44-O que é a radioatividade ?:

45-Quais as formas da radiação? Defina e de exemplos.

46-As partículas alfa emitidas possuem:

- a) energias características e discretas.
- b) energia oscilante e funcional.
- c) energia indistreta.
- d) energia funcional e discreta.

47-O que acontece quando um núcleo instável apresenta um excesso de nêutron comparado ao de prótons?

48-Uma amostra radioativa contém muitos átomos e não é possível prever quando um dado átomo irá se desintegrar. O processo de desintegração nuclear é de natureza estatística. Portanto o que se pode afirmar?

49- A meia – vida física ($T_{1/2}$) de um isótopo é definido como:

50- Conceitue meia vida biológica (T_B) de um radioisótopo.

51- Conceitue a meia vida efetiva.

51- Conceitue a meia vida efetiva.

52- A vida-média de uma amostra radioativa é considerada como sendo a:

- a) razão da subtração dos tempos gastos que cada átomo levaria para se integrar.
- b) razão da soma dos tempos gastos que cada átomo levaria para se desintegrar.
- c) razão da divisão dos tempos gastos que cada átomo levaria para se desintegrar.
- d) razão da multiplicação dos tempos gastos que cada átomo levaria para se integrar.

53- Quando um núcleo radioativo emite uma partícula – β (elétron) decaindo o número atômico (Z) é aumentado de uma unidade e o número de massa (A):

- a) altera-se.
- b) não se altera
- c) estabiliza-se
- d) nenhuma das anteriores

54- Quando o número de prótons no núcleo do átomo é superior a 82 ($A > 150$), a força Coulombiana de repulsão torna-se maior que a força nuclear que mantém unido o:

- a) átomo
- b) ritmo
- c) corpo
- d) força nuclear

55- Qual o numero de elementos químicos conhecidos atualmente na tabela periódica?





ASPR

ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE

Capítulo - 3

Interação da Radiação com a Matéria

ASPR
ASSESSORIA E SERVIÇOS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E
CONTROLE DE QUALIDADE

Assuntos

1. Interação da radiação
2. Atenuação da radiação
3. Camada semi-redutora
4. Processos de interação da radiação com a matéria
5. Absorção diferencial
6. Atenuação
7. Agentes de Contrastes radiológicos
8. Importância relativa dos vários tipos de interações

Rua Paulo Portela, nº 90 - Bairro Castália - CEP: 45.602-194 - Jabuna - Bahia
Fone contato: (73) 99191 - 1119 ; E-mail: aspr@aspronline.com.br
www.aspronline.wix.com/aspronline ; www.facebook.com/asprcq



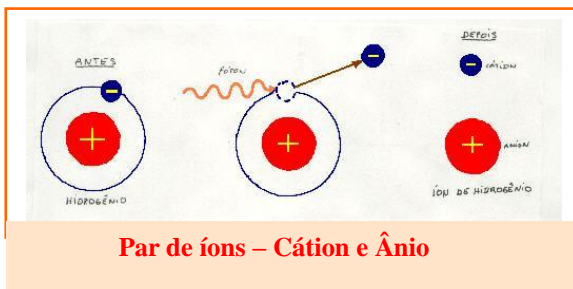


INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

1 – Ionização do átomo

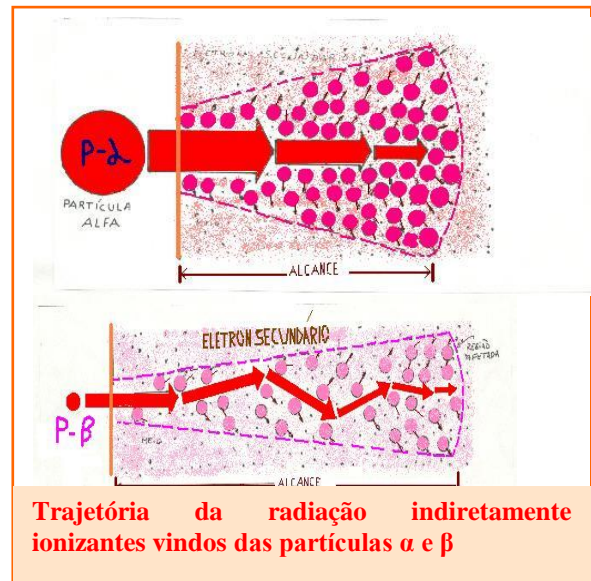
Quando uma partícula carregada (α ou β) passa por perto de um átomo, as forças eletrostáticas atuam entre elas e os elétrons orbitais. Se a partícula passa muito perto, pode acontecer que um dos elétrons adquira energia suficiente para se separar do átomo. A este processo onde é ocasionado um desequilíbrio elétrico chamamos de ionização do átomo. O elétron arrancado do átomo (carga elétrica negativa) é um íon negativo chamado ânion, o átomo que sobrou (cargas elétricas positivas) é um íon positivo chamado cátion figura seguinte.

Neste evento podemos dizer que foi produzido o que denominamos um par de íons.



2 – Radiação Diretamente Ionizante

Quando um feixe de radiação incidente em um meio biológico ou não for constituído de partículas carregadas (α , β , e^- , e^+ , P^+), classificamos este como radiação diretamente ionizante, ou seja, as próprias partículas do feixe de radiação têm a capacidade de arrancar os elétrons dos átomos constituintes do meio (figuras seguintes).



No instante em que as partículas carregadas do feixe vão interagindo (ionizando) com os átomos do meio, elas vão perdendo parte de sua energia de movimento (energia cinética) até parar completamente no meio, instante que ocorre a máxima ionização. Em média são gastos pela radiação ionizante cerca de 30 eV para produzir um par de íons no ar, o que é mais do que suficiente para quebrar uma ligação química forte.

Exemplo: A energia de ligação associado com uma molécula do tipo $C=C$ que faz parte das células do corpo é de **4,9 eV**.

O número de pares de íons produzidos por uma trajetória percorrida pela partícula ionizante no ar a CNTP é chamado de ionização específica (I). A ionização específica é inversamente proporcional à velocidade da partícula ionizante, pois à medida que ela vai parando vai aumentando o número de ionização dos átomos do meio conforme pode ser visto na figura acima.

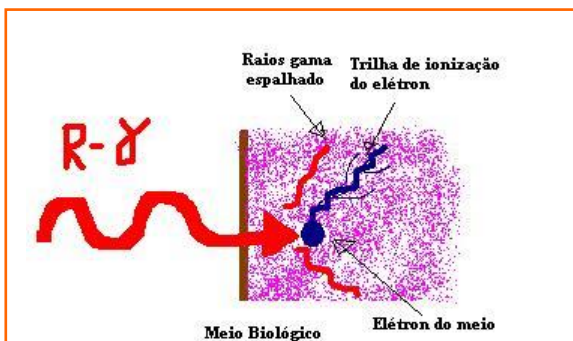




3–Radiação Indiretamente Ionizante

Os feixes de radiações incidentes em meios biológicos ou não constituídos de raios γ ou raios X , são classificados como radiações indiretamente ionizantes.

Os raios γ e os raios X por serem ondas eletromagnéticas (não possuem massa e nem carga elétrica), ao interagirem no meio não são capazes elas próprias de arrancar os elétrons constituintes dos átomos do meio. Em vez disso, estes feixes de radiação também chamados de feixes primários ao passarem pelo meio, transferem energias aos elétrons dos átomos do meio e estes elétrons chamados de elétrons secundários ao adquirirem energia suficiente para vencer a energia de ligação que os prende no átomo, põem-se em movimentos rápidos ionizando o meio até perder por colisões com os outros elétrons ou núcleos do meio, toda a sua energia de movimento adquirida dos raios γ ou raios X .



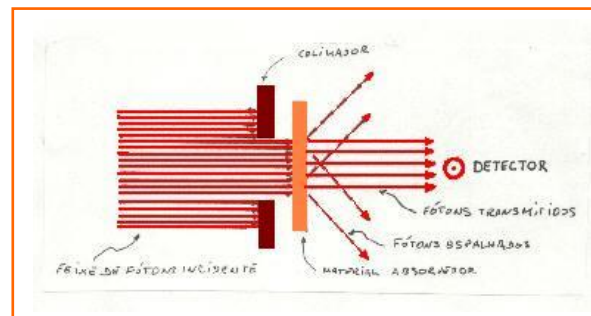
Os $R\text{-}\gamma$ ou X transferem energia para os elétrons dos meios e estes põem-se em movimentos rápidos ionizando o meio

As radiações indiretamente ionizante, ou seja, o feixe primário, quando interagem com a matéria não ionizam o meio, mas, produzem radiações secundárias (elétrons

rápidos) que são ionizantes.

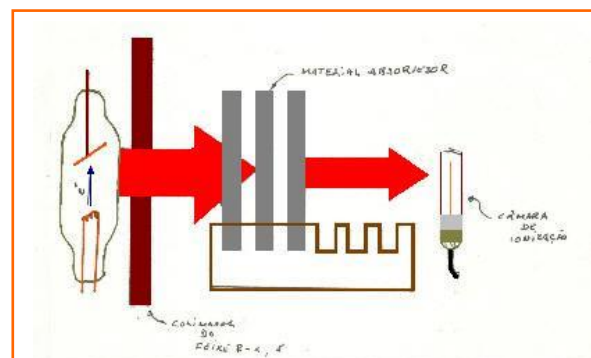
4 – Atenuação da Radiação

A Intensidade (quantidade) de um feixe de raios γ ou raios X ao passar através de um material qualquer, sofre uma diminuição da sua intensidade inicial. A diminuição na intensidade do feixe de radiação é chamada de atenuação e ocorre devido à absorção e espalhamento dos raios γ ou raios X do meio (figura seguinte).



Redução da intensidade do feixe de radiação após atravessar o material

Um arranjo experimental foi montado para medir a intensidade de radiação transmitida e a dependência com o material absorvedor (figura seguinte).



Experimento para medir a atenuação de $r\text{-}\gamma$ ou $R\text{-}X$ através de absorvedores





No experimento anterior, foram colocados absorvedores de uma mesma espessura e de um mesmo tipo de material entre a fonte de raios – X ou raios – γ e o conjunto detector de radiação. Foi observada que, para cada absorvedor colocado entre a fonte e o detector, a leitura obtida assinalava uma redução fracional constante da intensidade transmitida, cuja característica obedecia a seguinte expressão exponencial:

$$I = I_0 e^{-\mu X}$$

onde,

I_0 – Intensidade inicial do feixe (antes de interagir com o absorvedor de espessura X)

I – Intensidade transmitida através do absorvedor

X – É a espessura do material absorvedor colocado entre a fonte e o detector da radiação

μ – É o coeficiente de atenuação linear do material, o qual depende da energia da radiação e do próprio material atenuador

O coeficiente de atenuação linear “ μ ” é a redução fracional por unidade de espessura de material absorvedor do feixe incidente.

Fisicamente, μ representa a probabilidade de um fóton gama ou raios-X ser removido do feixe de radiação.

5 – Camada Semi – Redutora (CSR)

O experimento anterior mostrou que uma certa espessura do absorvedor reduzia a intensidade inicial da radiação para a metade do seu valor.

A figura abaixo mostra que a atenuação de um feixe monoenergético é descrita por uma função exponencial e que é do mesmo daquela do decaimento radioativo. Portanto, o termo análogo à meia vida é a camada semi-redutora.



Atenuação da radiação ao passar por um material absorvedor de espessura “X”, e a espessura que representa a CSR

A camada semi-redutora é definida como sendo a espessura necessária de um absorvedor que interposta ao feixe, reduz à intensidade do feixe incidente a metade (50%) do seu valor inicial e é dada por:

$$CSR = X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

$X_{1/2}$ é chamado de semi-espessura ou camada semi-redutora, ou camada hemi - redutora.

A camada semi-redutora (CSR) é um parâmetro que nos informa sobre a energia do feixe (qualidade da radiação) e sobre o po-



der de penetração no meio em que incide.

Exemplos de algumas camadas semi-redutoras de chumbo (Pb) para alguns radioisótopos:

Espessura em chumbo para alguns radioisótopos

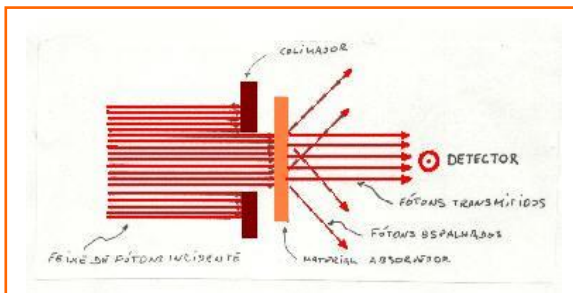
Radioisótopo	Energia	CSR
Co-60	E = 1,25 MeV	12 mmPb
Cs-137	E = 0,662 MeV	6,5 mmPb
Ir-192	E = 0,13 a 1,06 MeV	6,0 mmPb
R-X ou γ	E = 10 KeV	0,0045 mmPb
R-X ou γ	E = 50 KeV	0,08 mmPb
R-X ou γ	E = 100 KeV	0,11 mmPb
R-X ou γ	E = 500 KeV	3,8 mmPb
R-X ou γ	E = 1 MeV	8,6 mmPb
R-X ou γ	E = 5 MeV	14,4 mmPb

Quando um feixe de raios γ ou raios X passa através do material absorvedor, 4 eventos principais podem ocorrer:

- 1 – O fóton ou R-X pode ser desviado de sua direção inicial sem perder nenhuma energia no meio absorvedor (Atenuação e Espalhamento);
- 2 – O fóton ou R-X pode ser desviado de sua direção inicial, perdendo parte de sua energia para o meio absorvedor (Espalhamento, Atenuação e Absorção);
- 3 – O fóton ou R-X pode desaparecer totalmente no meio absorvedor cedendo toda a sua energia para o meio (Atenuação e Absorção);
- 4 – O fóton ou R-X pode passar direto sem interagir com o meio absorvedor (Radiação transmitida).

6 – Processos de Interação da Radiação com a Matéria

Até agora sua atenção foi voltada para a passagem da radiação através do material absorvedor. Nada foi dito acerca da radiação que foi removida do feixe de radiação, ou como a radiação foi removida, ou que efeito tal remoção causa no material absorvedor.



Redução da intensidade do feixe após atravessar o material ocasionado por eventos no processo de interação da radiação com a matéria

É importante denotar que, o número de fótons ou raios X que participam destes eventos vão depender de alguns fatores, tais como:

- a) O número de fótons ou raios X contidos no feixe de radiação incidente no meio absorvedor;
- b) A energia do feixe de radiação incidente;
- c) O tipo do material absorvedor: Pb, Cu, tecido humano, osso, etc.;
- d) Espessura do material absorvedor

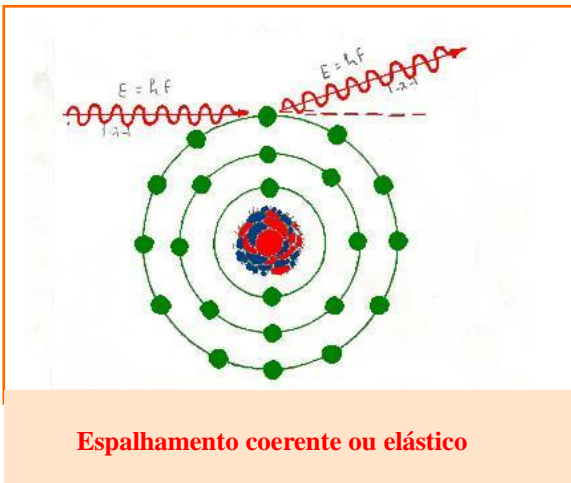
Os principais mecanismos de interação dos eventos citados acima são quatro: **Efeito Compton**, **Efeito Fotoelétrico**, **Produção de Pares** e **Aniquilamento**.



Efeito Compton – “Espalhamento Coerente ou elástico”

Com a finalidade de melhor compreendermos o mecanismo de interação deste evento, vamos explicar seqüencialmente por numeração:

- 1 – Quando uma radiação eletromagnética (γ ou X) de comprimento de onda “ λ ” passa próximo de um elétron do átomo do meio, este se põe a oscilar momentaneamente.
- 2 – O elétron oscilante ao deixar de vibrar, ré-irradia na mesma freqüência da radiação incidente e em outra direção, a energia recebida por este.



O espalhamento coerente é possível de acontecer somente em material de número atômico (Z) alto e com fótons de baixa energia (< 100 KeV).

O espalhamento coerente é um processo de espalhamento cooperativo que envolve todos os elétrons do átomo no qual nenhuma energia é transferida para o meio. Haja vista que, o fóton ou r-X espalhado têm o mesmo

comprimento de onda “ λ ” da radiação incidente.

Este tipo de espalhamento não tem importância do ponto de vista da radiologia diagnóstica ou da radioterapia, sendo somente de interesse acadêmico

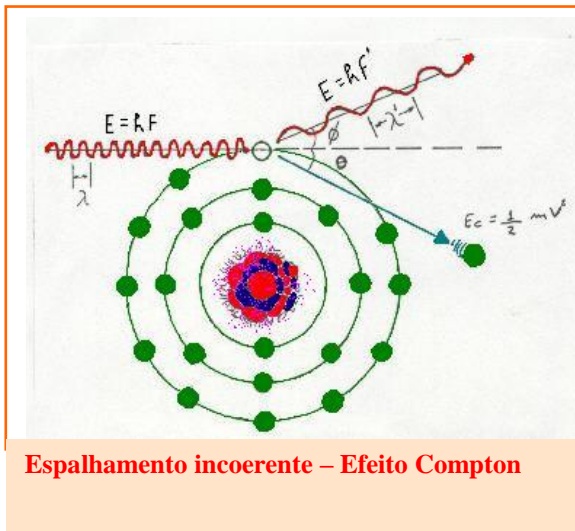
Efeito Compton – “Espalhamento incoerente ou inelástico”

Este é o mais importante mecanismo de interação, porque mostra o fóton ou r-X atuar como partícula nos processos de colisão com outras partículas (elétrons).

Em homenagem ao seu descobridor, o físico Arthur Compton, o espalhamento é mais conhecido como efeito Compton, o qual descreveremos a seguir:

- 1 – O fóton ou r – X com energia $E = hf$ interage com um dos elétrons das camadas mais externas do átomo do meio;
- 2 – Na interação, o fóton ou r – X transfere parte de sua energia para o elétron do meio e muda a sua direção de propagação com a energia restante ($E = hf'$).
- 3 – O elétron ao receber energia do fóton ou r-X por colisão, desloca-se no meio com energia de movimento (cinética), formando um certo ângulo com a direção de propagação do fóton ou r-X incidente;
- 4 – Se o fóton for espalhado de um ângulo Φ , o elétron Compton ($\theta = 0^\circ$) se movimentará com energia cinética máxima e o fóton espalhado terá um mínimo de energia (figura seguinte).





Diferentemente do espalhamento coerente, o efeito Compton (incoerente) aumenta com fótons de alta energia (100 KeV a 10 MeV) e independe do número atômico (Z) do material.

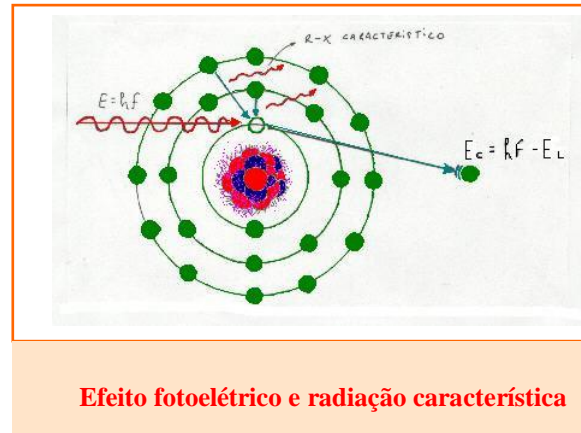
Outro detalhe importante é que o espalhamento incoerente é o mais importante mecanismo de interação, porque mostra o fóton atuar como partícula nos processos de colisão com outras partículas (elétrons).

Efeito Fotoelétrico

O mecanismo de interação deste evento pode ser descrito assim:

- 1 – O fóton de energia $E = hf$ interage com um dos elétrons das camadas mais internas (K,L,M ou N) do átomo do meio;
- 2 – Na interação o fóton transfere toda a sua energia para o elétron orbital, o qual se põe em movimento com energia cinética ($E_c = hf - E_L$), onde E_L é a energia de ligação do elétron na respectiva camada;

- 3 – Após o fotoelétron ser ejetado, o buraco deixado na camada, torna o átomo a ficar em um estado excitado e, quando o buraco for preenchido por elétrons das camadas mais externas, este emite raios - X característicos.



O efeito fotoelétrico é predominante em baixas energias (< 600 keV para o Pb-82 e < 60 KeV para Al-13) e material de número atômico elevado (Z).

A diferença em (Z) dos vários tecidos como osso, músculo, e gorduras ampliam as diferenças na absorção dos raios-X ou raios γ . Em feixes de baixa energia os raios - X são mais absorvidos pelos ossos devido à dependência com Z^3 , daí sua importância na radiologia diagnóstica por apresentar melhor contraste, e na proteção radiológica onde a melhor blindagem do R-X ou gama, é o chumbo.

Produção de pares elétrons-pósitrons e aniquilamento dos mesmos

Este mecanismo de interação é uma constatação da famosa equação de Einstein ($E = mc^2$), que explica a conversão de energia em matéria e vice-versa, conforme veremos a seguir:





- 1 – Quando um fóton ou r – X com energia superior a 1,02 MeV passa próximo ao núcleo do átomo, este fica sujeito ao forte campo do núcleo;
- 2 - O fóton pode repentinamente desaparecer na vizinhança do núcleo e em seu lugar surgir um par de elétron - pósitron, cuja energia equivalente a massa de repouso vale 0,511 MeV;
- 3 – O par elétron-pósitron produzido perde sua energia ionizando o meio da mesma maneira que o elétron e, quando atinge o seu alcance máximo, aniquila-se produzindo dois fótons de aniquilamento com energia de 0,511 MeV cada.

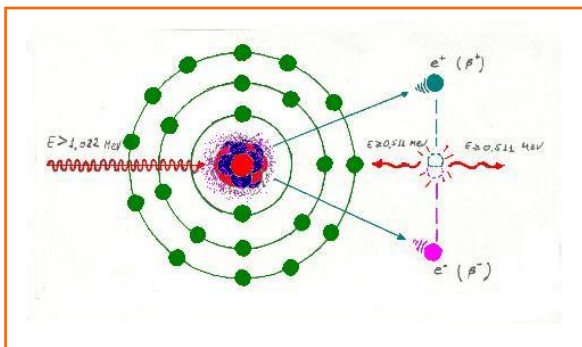
A produção de pares é predominante para energias elevadas e materiais de números atômicos (Z) altos, crescendo com Z^2 .

Este mecanismo de interação é uma constatação da famosa equação de Einstein ($E = mc^2$), que explica a conservação de energia e vice-versa.

7 – Importância Relativa dos Vários Tipos de Interações

Quando um feixe de raios – X ou raios – γ interage com um material absorvedor, a predominância de um determinado tipo de interação relacionado a outro, vai depender da energia do fóton e do tipo de material, conforme vemos na tabela abaixo:

ENERGIA DO FÓTON	NÚMERO RELATIVO DE PROCESOS (%)		
	Efeito Fotoelétrico	Efeito Compton	Produção de Pares
10 KeV	95	5	0
20 KeV	70	30	0
26 KeV	50	50	0
30 KeV	39	61	0
40 KeV	20	80	0
50 KeV	11	89	0
57 KeV	8	92	0
60 KeV	7	93	0
80 KeV	3	93	0
100 KeV	1	99	0
1 MeV	0	100	0
4 MeV	0	94	6
6 MeV	0	88	12
10 MeV	0	77	23
20 MeV	0	56	44



Produção de pares elétron-pósitron e Aniquilamento dos pares

Analisando a tabela anterior, observa-se que para os fótons com energia até 10 KeV predominam o efeito fotoelétrico, para os fótons com energia igual a 26 KeV a contribuição fotoelétrica e espalhamento Compton são iguais (50%). A partir de 26 KeV em diante o efeito Compton passa a predominar sobre o efeito fotoelétrico. De 1 MeV em diante o efeito Compton é máximo, o fotoelétrico é zero e a produção de pares começa a crescer. E a partir 4 MeV inicia a produção de pares.





56-O que é um ânion?

- a) é um íon negativo com carga elétrica positiva.
- b) é um íon positivo com carga elétrica negativa.
- c) é um íon negativo com carga elétrica negativa.
- d) é um íon positivo com carga elétrica positiva.

57-O que é um cátion?

- e) é um íon negativo com carga elétrica positiva.
- f) é um íon positivo com carga elétrica negativa.
- g) é um íon negativo com carga elétrica negativa.
- h) é um íon positivo com carga elétrica positiva.

58-Complete as lacunas de forma a deixar o texto correto.

Quando um feixe de radiação incidente em um meio biológico ou não for constituído de _____ classificamos este como _____.

- a) radiação indiretamente ionizante.
- b) propagação diretamente ionizável.
- c) radiação diretamente ionizante.
- d) radiação corpuscular.
- e) nenhuma das anteriores.

59-Complete as lacunas de forma a deixar o texto correto.

Os feixes de radiações incidentes em meios biológicos ou não constituídos de _____ ou _____, são classificados como _____.

- a) radiação indiretamente ionizante.
- b) propagação diretamente ionizável.
- c) radiação diretamente ionizante.
- d) radiação corpuscular.
- e) nenhuma das anteriores.

60-Sabendo-se que quando um feixe de raios- γ ou raios-X passam através do material absorvedor, 4 eventos principais podem ocorrer. Quais são eles?

61-Complete as lacunas de forma a deixar o texto correto.

A camada semi-redutora é definida como sendo a _____ que interposta ao feixe, reduz à intensidade do feixe incidente a metade (50%) do seu valor inicial.

- a) espessura necessária de um absorvedor.
- b) esticamento necessário para absorção.
- c) redução da absorção.
- d) película protetora.
- e) camada protetora.

62-Descreva um pouco sobre o efeito fotoelétrico e o efeito compton?:

63- Descreva sobre a camada semi-redutora (CSR).

64- O que se entende por radiação diretamente ionizante e radiação indiretamente ionizante?





GLOSÁRIO DE TERMOS

Absorção - Fenômeno que ocorre quando um feixe de radiação interage com um meio qualquer, e somente parte ou quase nada deste feixe se torna emergente do outro lado do meio.

Alcance - Distância que um elétron percorre desde o instante que recebeu energia até o instante em que o mesmo para. Este evento é acompanhado de ionização no meio

Angstrom (Å) - Unidade de comprimento usada para comprimentos muito curtos, tal como alguns comprimentos de onda de luz, como exemplo, 1mm /1000 partes é igual a um micrômetro, 1mm/1000.000 de partes é igual a um nanômetro e 1mm/10 000 000 de partes é igual a angstrom

Ânion - São átomos em desequilíbrio elétrico, onde o número de elétrons é maior do que o número de prótons.

Atividade (A) - Número de desintegrações por unidade de tempo, de uma amostra radioativa ($A = dN/dt$)

Átomo - Menor partícula de um elemento que pode estar numa combinação química. É formado por uma parte central (núcleo), e de elétrons que giram ao redor do núcleo.

Bequerel - Unidade padrão de atividade, definida como 1 desintegração por segundo (ICRP – 1977)

Blindagem - Expressão usada para designar a interposição de qualquer material entre a fonte emissora de radiação e o pessoal envolvido, e cuja finalidade principal é bloquear a passagem da radiação para o meio externo. Geralmente esta blindagem pode ser de concreto, aço, etc.

Camada Semi-Redutora - Espessura de material que atenua o feixe de radiação de tal extensão que, a taxa de exposição é reduzida à metade do seu valor inicial. Nesta definição, a contribuição de toda radiação espalhada, ou outra qualquer que esteja presente, inicialmente, no feixe, é considerada excluída.

Carga elétrica negativa - Eletricidade negativa contida no elemento de partícula do átomo, no caso, o elétron. E sua unidade é o Coulomb (C), onde $1C = 6,25 \times 10^{18}$ elétrons.

Camada eletrônica - Distribuição dos elétrons que giram ao redor do núcleo. Estes elétrons são distribuídos em cada camada, segundo um número definido de elétrons por camadas, as quais são em número de sete (7).

Carga elétrica positiva - Eletricidade positiva contida no elemento de partícula do átomo, no caso o próton. Em valores absolutos, é igual, a carga elétrica de um é igual a carga elétrica de um elétrico.

Cátion - Um átomo é eletricamente nêutron, ou seja, o número de prótons (Q_+) é igual ao número de elétrons (Q_-). Quando um átomo tem número de prótons maior que o número de elétrons, chamamos este de cátion.

Curie (Ci) - Unidade especial da atividade e correspondem a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo.

Decaimento radioativo - Processo de diminuição da atividade de um nuclídeo radioativo pela transmutação que sofre ao se desintegrar.



Defeito de massa - Diferença apresentada entre a massa total do átomo, e a soma da massa de seus constituintes.

Elétron-volt (eV) - Quantidade de energia ganha por um elétron ao atravessar um campo elétrico com uma diferença de potencial de 1 volt.

Energia de ligação - Energia correspondente à diferença entre a soma das energias de repouso dos núcleons e a verdadeira massa do núcleo (defeito de massa).

Energia Cinética - Energia que o corpo adquire ao entrar em movimento, é o mesmo que energia do movimento.

Espectron eletromagnéticos - Faixa que mostra todos os comprimentos de ondas eletromagnéticas existentes.

Fóton - Partícula com massa de repouso nula, sem carga elétrica, cuja velocidade no vácuo é igual à velocidade da luz. É o quantum da interação eletromagnética. São os pequenos pacotes de energia $E = hf$.

Força elétrica - Força criada pelo produto da carga elétrica pelo campo elétrico da mesma carga.

Força gravitacional - Força de atração que a terra ou outro planeta qualquer exerce sobre os corpos quando dentro do seu campo de ação.

Força nuclear - Força existente dentro do núcleo do átomo.

Frequência de onda (f) - É o número de vezes em que o ciclo se completa passando pelo mesmo ponto.

Isótopos - Nuclídeos com o mesmo número de prótons, mas diferentes números de massa atômica. Ex. deutério e trítio.

Íons - Átomos em desequilíbrio elétrico. Isto é, átomo com falta ou excesso de elétrons.

Ionização - Processo pelo qual o átomo é ionizado.

Lei do decaimento radioativo - “O número de átomos de um nuclídeo radioativo presentes numa amostra decresce exponencialmente com o tempo: $N(t) = N(o) e^{-\lambda t}$ ”.

Massa atômica - massa de um átomo medida numa escala convencional em que a massa do nuclídeo C^{12} é o padrão que vale 12 unidades de massa e cuja unidade é (u.m.a)

MeV - Submúltiplos de elétron-volt que é a unidade de energia usada em física atômica. MeV vale um milhão de elétron-volts, ou seja, um elétron acelerado por uma diferença de potencial de um milhão de volts.

Nêutron - Partícula constituinte do núcleo do átomo, e que não tem carga elétrica. Mas, tem massa.

Núcleo - Parte positiva do átomo constituída por nêutrons e prótons, de raio pequeno ($\approx 10^{-12}$ ou 10^{-13} cm) é onde se concentra a quase totalidade de sua massa.

Nuclídeo - Espécie de núcleo caracterizado pelo número atômico (Z) e pelo número de massa (A). Os termos núcleo e nuclídeos podem ser trocados sem causar confusão.



Número de massa (Z) - Número de prótons que existe no núcleo, é igual ao número de elétrons do átomo. Esta igualdade torna o átomo eletricamente neutro.

Radiação - Emissão e propagação de energia através do espaço de um meio material, sob a forma de ondas eletromagnéticas, sonoras etc.

Radioatividade - Processo que certos núclídeos sofrem desintegração, liberando energia e formando em geral, novos núclídeos.

Radioisótopos - Designa um núcleo instável. Isto é, radioativo. Também chamado de radionúclídeo.

Raios - gama - Radiação eletromagnética proveniente do núcleo, quando da liberação de energia.



ASPR – Assessoria e Serviços
em
Proteção Radiológica e Controle de Qualidade Ltda.

Fone: (73) 4141 – 1973 / (73) 3214 -4315

Celular: (73) 99191 – 1119

Site: aspronline.wix.com/aspronline **e-mail:** aspronline@hotmail.com

- ① **Plano de Transporte de Material Radioativo**
- ① **Transporte de Material Radioativo**
- ① **Plano de Radioproteção:** Radiodiagnóstico, Radioterapia e Medicina Nuclear.
- ① **Projetos de Cálculos de blindagens estruturais:** Radiodiagnóstico, Radioterapia e Medicina Nuclear.
- ① **Levantamento Radiométrico**
- ① **Teste de Radiação de Fuga**
- ① **Curso de Atualização e Treinamento de IOE ao RX**
- ① **Implantação de Programa de Controle de Qualidade**
- ① **Serviços de CQ e GQ:** RX Uso Geral, Mamografia, Fluoroscopia e TC em Diagnóstico e Odontológico.
- ① **Assessoria em Proteção Radiológica Junto a Vigilância Sanitária e CNEN.**
- ① **Elaboração de PGRSS**
- ① **Plano de Gerenciamento de Rejeito Radioativo**
- ① **Assessoria em Segurança do Trabalho Elaboração de PPRA**

Físicos Médicos e Especialista em Radioproteção e CQ e GQ

- ① **Milton Coelho Maciel**
Físico Médico ABFM nº 0664
Supervisor de Proteção Radiológica CNEN nº FT 0050
Supervisor de Proteção Radiológica CNEN nº FM 0138