



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
Mestrado Profissional em Ensino de Física



# O LEGADO DE MADAME CURIE

Parte 3 - CONCEITOS DE FÍSICA,  
QUÍMICA, BIOLOGIA E MATEMÁTICA

# ESTRUTURA DA MATÉRIA E O ÁTOMO

Todas as coisas existentes na natureza são constituídas de átomos ou suas combinações.

Atualmente, sabemos que o átomo é a menor estrutura da matéria que apresenta as propriedades de um elemento químico.

H																							
3 Li		4 Be																5 B		6 C	7 N	8 O	9 F
11 Na		12 Mg																13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	
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							
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							
55 Cs	56 Ba	* 	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At							
87 Fr	88 Ra	** 	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	(117) (Uus)							

\* Lantanídeos

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

<http://chc.cienciahoje.uol.com.br/boas-vindas-a-flerovio-e-livermorio/>



## O ÁTOMO

Por muito tempo, pensou-se que o átomo, na forma conhecida, seria a menor porção da matéria e teria uma estrutura compacta.

Atualmente, sabemos que o átomo é constituído por partículas menores (sub-atômicas), distribuídas de uma forma que lembra o Sistema Solar.

Existe um Núcleo, onde fica concentrada a massa do átomo e minúsculas partículas que giram em seu redor, denominadas elétrons.

Os elétrons são partículas de carga negativa e massa muito pequena.

<http://reflexoesentremundos.blogspot.com.br/2010/05/pre-socraticos-parmenides-heraclito.html>

# ESTRUTURA DO NÚCLEO E ENERGIA NUCLEAR

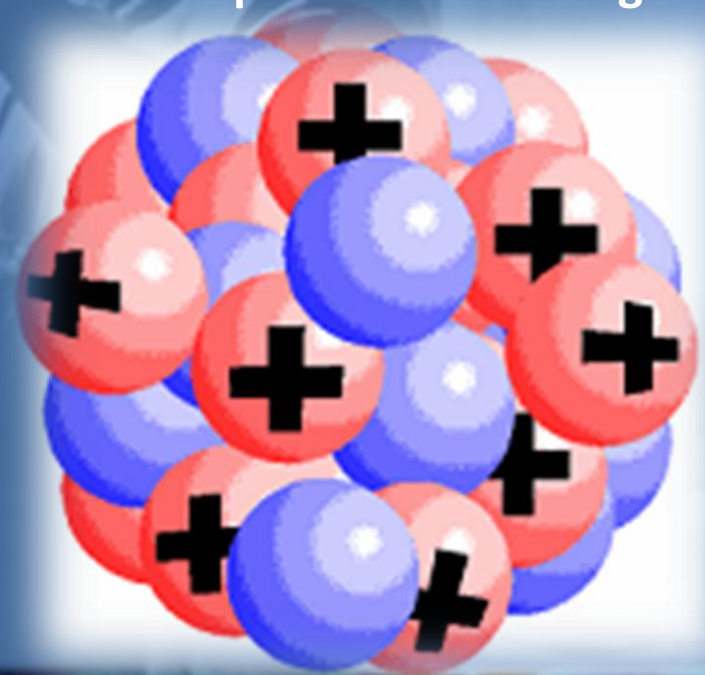
O Núcleo do átomo é constituído de partículas de carga positiva, chamadas prótons, e de partículas de mesmo tamanho mas sem carga, denominadas nêutrons.

Como eles estão juntos no núcleo, comprova-se a existência de energia nos núcleos dos átomos com mais de uma partícula: a energia de ligação dos nucleons ou energia nuclear.

Denomina-se nuclídeo qualquer configuração nuclear, mesmo que transitória.

Num átomo neutro o número de prótons é igual ao número de elétrons.

O número de prótons (ou número atômico) identifica um elemento químico.



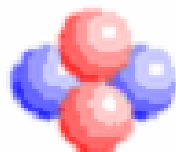
## ELEMENTOS QUÍMICOS NATURAIS

 Próton       Nêutron



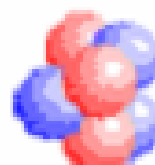
**H**

Hidrogênio  
1 próton



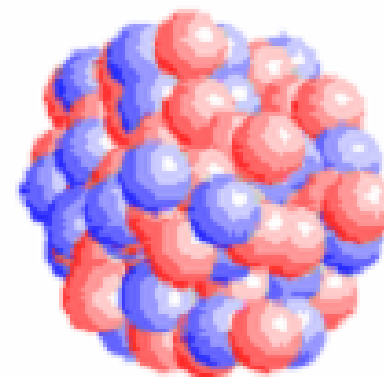
**He**

Hélio  
2 prótons



**Li**

Lítio  
3 prótons



**U**

Urânio  
92 prótons

  
energia



# OS ISÓTOPOS

O número de nêutrons no núcleo pode ser variável, pois eles não têm carga elétrica. Com isso, um mesmo elemento químico pode ter massas diferentes. Átomos de um mesmo elemento químico com massas diferentes são denominados isótopos.

O hidrogênio tem 3 isótopos: o hidrogênio, o deutério e o trítio.



**Hidrogênio**

1 próton



**Deutério**

1 próton

1 nêutron



**Trítio**

1 próton

2 nêutrons

O urânio, que possui 92 prótons no núcleo, existe na natureza na forma de 3 isótopos:

- U-234, com 142 nêutrons (em quantidade desprezível);
- U-235, com 143 nêutrons (0,7%);
- U-238, com 146 nêutrons no núcleo (99,3%).

# RADIOATIVIDADE

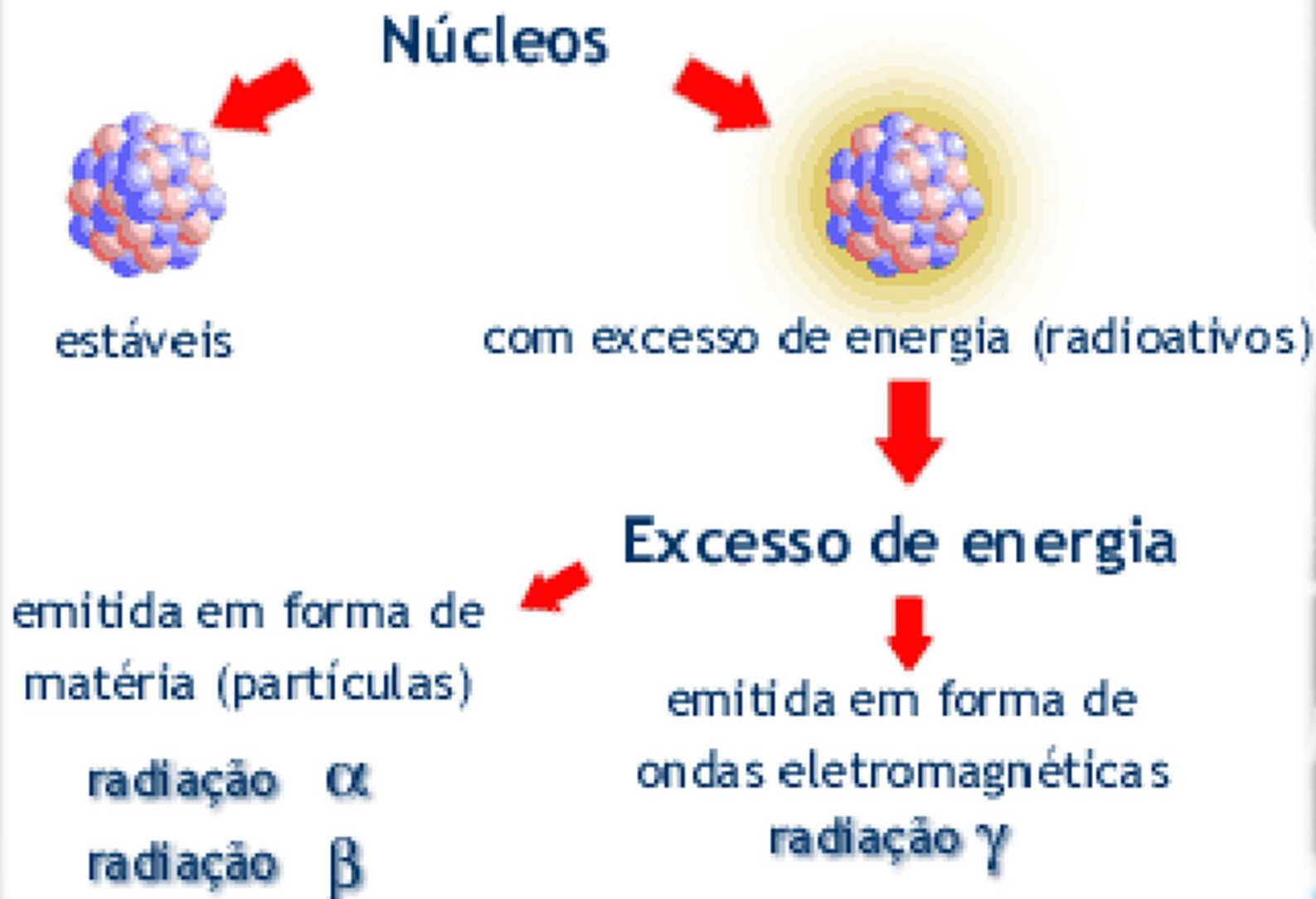
O esquecimento de uma rocha de urânio sobre um filme fotográfico virgem levou à descoberta de um fenômeno interessante: o filme foi velado (marcado) por “alguma coisa” que saía da rocha, na época denominada raios ou radiações.

O fenômeno foi denominado radioatividade e os elementos que apresentavam essa propriedade foram chamados de elementos radioativos.

Comprovou-se que um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de carga, tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas.



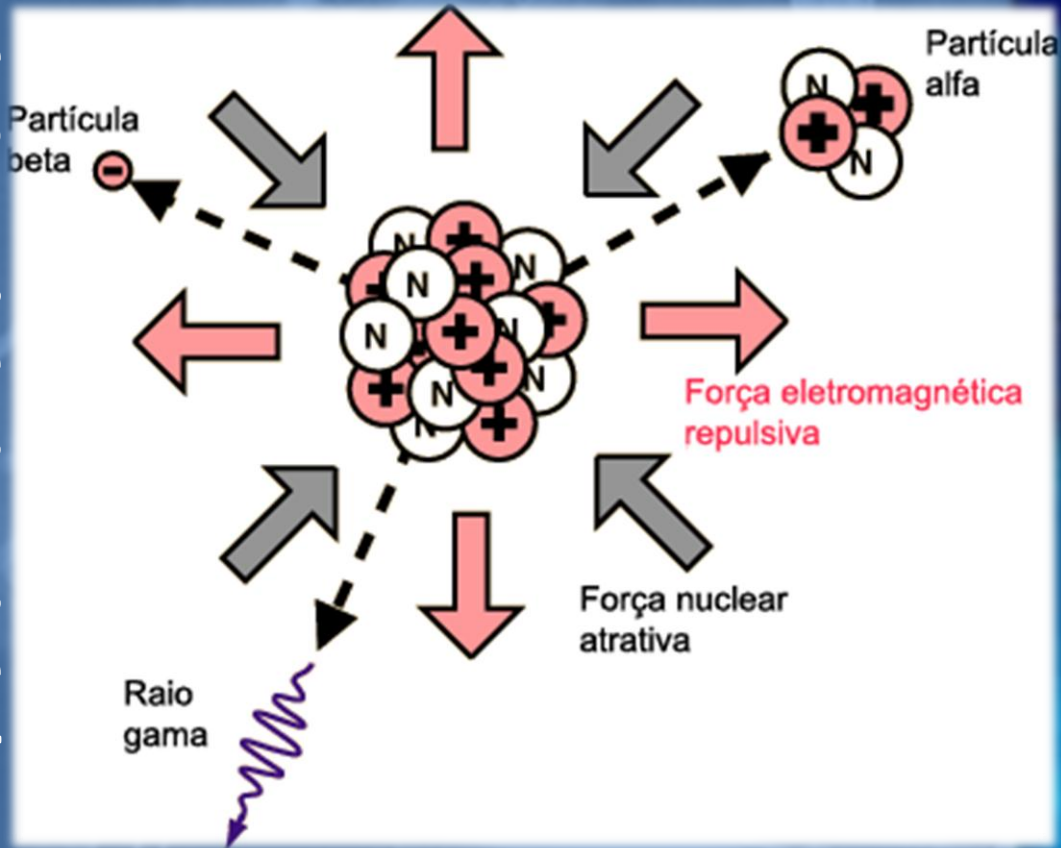






# Por que alguns núcleos são estáveis e outros radioativos?

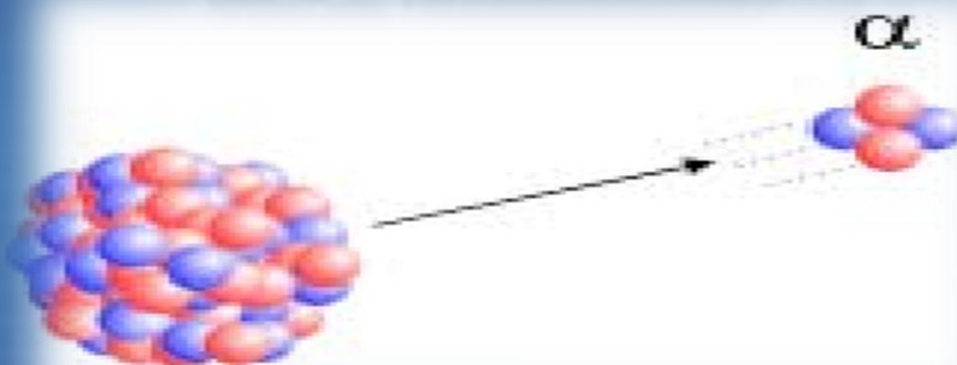
Quando prótons e nêutrons estão no núcleo existe uma competição entre estas forças: as forças nucleares de curto alcance querem manter os núcleons juntos e a força elétrica quer separar os prótons (partículas com carga) e portanto tenta desmanchar o núcleo.



# PARTÍCULA ALFA OU RADIAÇÃO ALFA

Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia é o da emissão de um grupo de partículas, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, e da energia a elas associada. São as radiações alfa ou partículas alfa, na realidade núcleos de hélio (He), um gás chamado “nobre”, por não reagir quimicamente com os demais elementos.

As partículas  $\alpha$  possuem carga +2.





# PARTÍCULA BETA OU RADIAÇÃO BETA

Outra forma de estabilização, quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação a prótons, é através da emissão de uma partícula negativa, um elétron, com carga -1, resultante da conversão de um nêutron em um próton. É a partícula beta negativa ou, simplesmente, partícula beta.

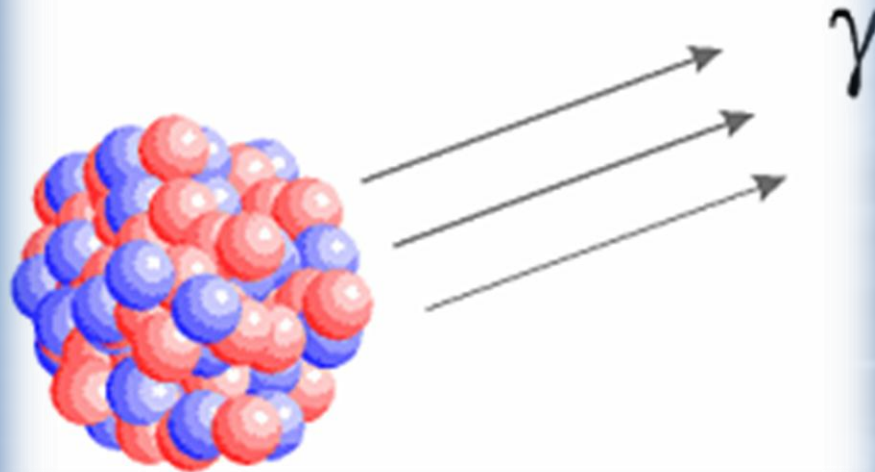
No caso de existir excesso de cargas positivas (prótons), é emitida uma partícula beta positiva, chamada pósitron, resultante da conversão de um próton em um nêutron.



Portanto, a radiação beta é constituída de partículas emitidas por um núcleo, quando da transformação de nêutrons em prótons (partículas beta) ou de prótons em nêutrons (pósitrons).

# RADIAÇÃO GAMA

Geralmente, após a emissão de uma partícula alfa ( $\alpha$ ) ou beta ( $\beta$ ), o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, sem carga elétrica, denominada radiação gama.





Exemplificando:

Cs-137 tem  $A = Z + N = 137$ , isto é, tem 55 prótons e 82 nêutrons.

Quando ele emite um elétron (partícula beta) passa a ter  $Z = 56$  e  $N = 81$  continuando com o mesmo número de massa.

Quem tem  $Z = 56$  é o elemento Ba-137. Diz-se então que o Cs-137 ao emitir uma partícula beta decai para Ba-137.



55  
Cs  
Caesium  
132,9054

1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A		
1 H Hidrógeno	2 He Hélio									3 Li Lítio	4 Be Berílio	5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrogênio	8 O Oxigênio	9 F Fluor	10 Ne Neônio
11 Na Sódio	12 Mg Magnésio									13 Al Alumínio	14 Si Silício	15 P Fósforo	16 S Enxofre	17 Cl Cloro	18 Ar Argônio		
19 K Potássio	20 Ca Cálcio	21 Sc Escândio	22 Ti Titânio	23 V Vanádio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganês	26 Fe Ferro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinco	31 Ga Gálio	32 Ge Germânio	33 As Arsênio	34 Se Selênio	35 Br Bromo	36 Kr Criptônio
37 Rb Rubídio	38 Sr Estrôncio	39 Y Ítrio	40 Zr Zircônio	41 Nb Níbio	42 Mo Molibdênio	43 Tc Técnetio	44 Ru Rútenio	45 Rh Ródio	46 Pd Paládio	47 Ag Prata	48 Cd Cádmio	49 In Índio	50 Sn Estanho	51 Sb Antimônio	52 Te Telúrio	53 I Iodo	54 Xe Xenônio
55 Cs Césio	56 Ba Bário	57-71 * Lantanídeos	72 Hf Háfnio	73 Ta Tântalo	74 W Wolfrâmio	75 Re Rênio	76 Os Osmio	77 Ir Írídio	78 Pt Platina	79 Au Ouro	80 Hg Mercúrio	81 Tl Telúrio	82 Pb Chumbo	83 Bi Bismuto	84 Po Polônio	85 At Astato	86 Rn Radônio
87 Fr Frâncio	88 Ra Rádio	89-103 ** Atinídeos	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dübnió	106 Sg Seabórgio	107 Bh Böhnió	108 Hs Hássio	109 Mt Meitnerio	110 Ds Darmstádio	111 Rg Roentgenio	112 Cn Copernício	113 Nh Nihônio	114 Fl Fleróvio	115 Uuq Ununquádio	116 Uup Ununpêntio	117 Uuh Ununheptio	118 Uuo Ununoctio
			57 La Lantânio	58 Ce Célio	59 Pr Praseodímio	60 Nd Néodímio	61 Pm Promécio	62 Sm Samarítio	63 Eu Európio	64 Gd Gadolínio	65 Dy Dissprócio	66 Tb Térbio	67 Ho Hólmio	68 Er Érbio	69 Tm Tulio	70 Yb Ítrio	71 Lu Lutécio
			89 Ac Actínio	90 Th Tório	91 Pa Protactínio	92 U Urânio	93 Np Neptúlio	94 Pu Plutônio	95 Am Americônio	96 Cm Cúrio	97 Bk Berkelônio	98 Cf Califórnia	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermímio	101 Md Mendelevíio	102 No Nobelíio	103 Lr Lawrêncio

Exemplificando:

U-238 92 prótons e 146 nêutrons, isto é, tem  $Z = 92$  e  $A = 238$ .

Quando emitir uma partícula alfa passará a Ter  $Z = 90$  (pois perdeu dois prótons) e  $A = 234$  (pois perdeu dois prótons e dois nêutrons).

O elemento que possui  $Z = 90$  é o Th-234. Diz-se então que o U-238 ao emitir uma partícula alfa decai para Th-234.

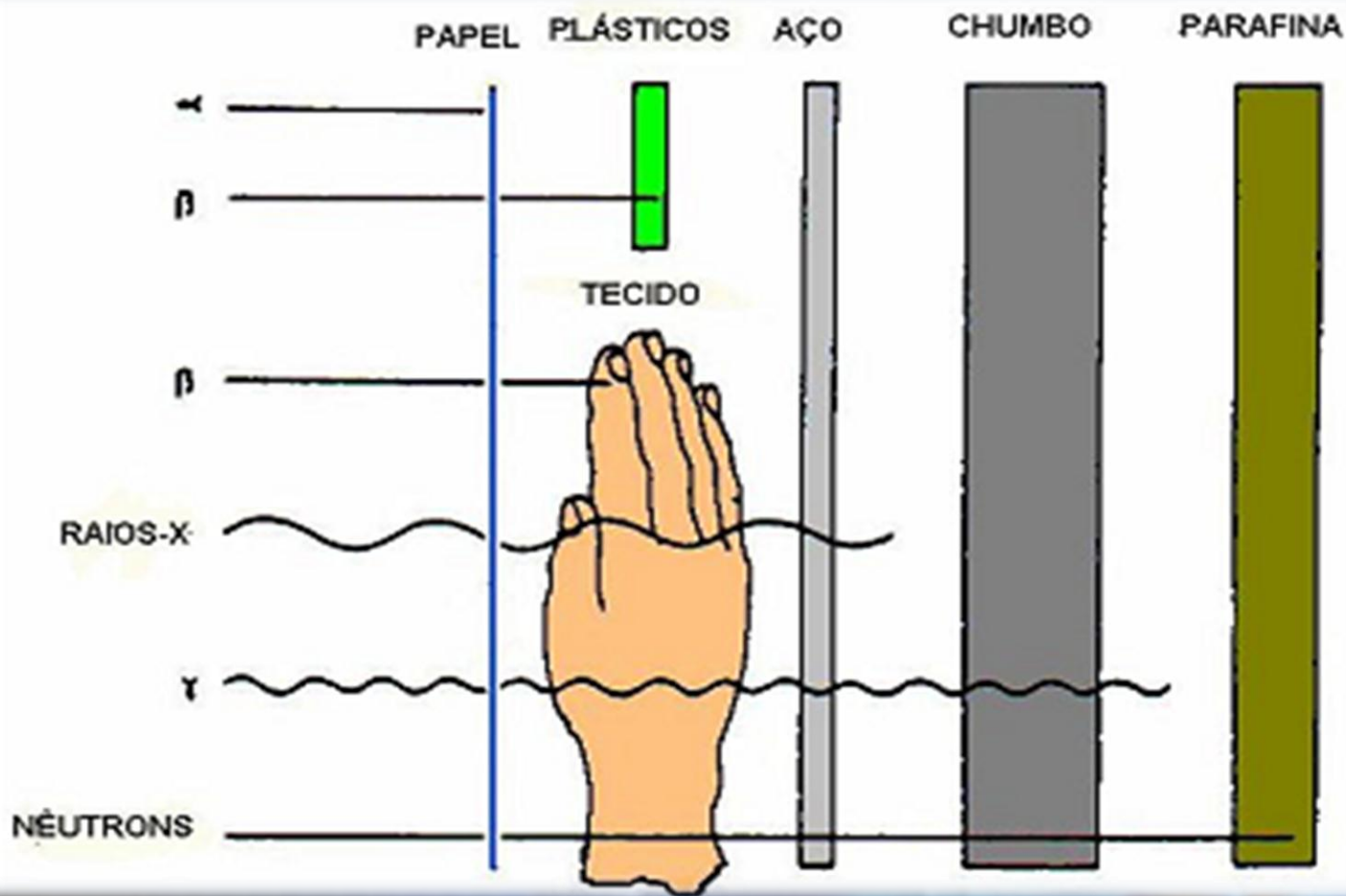


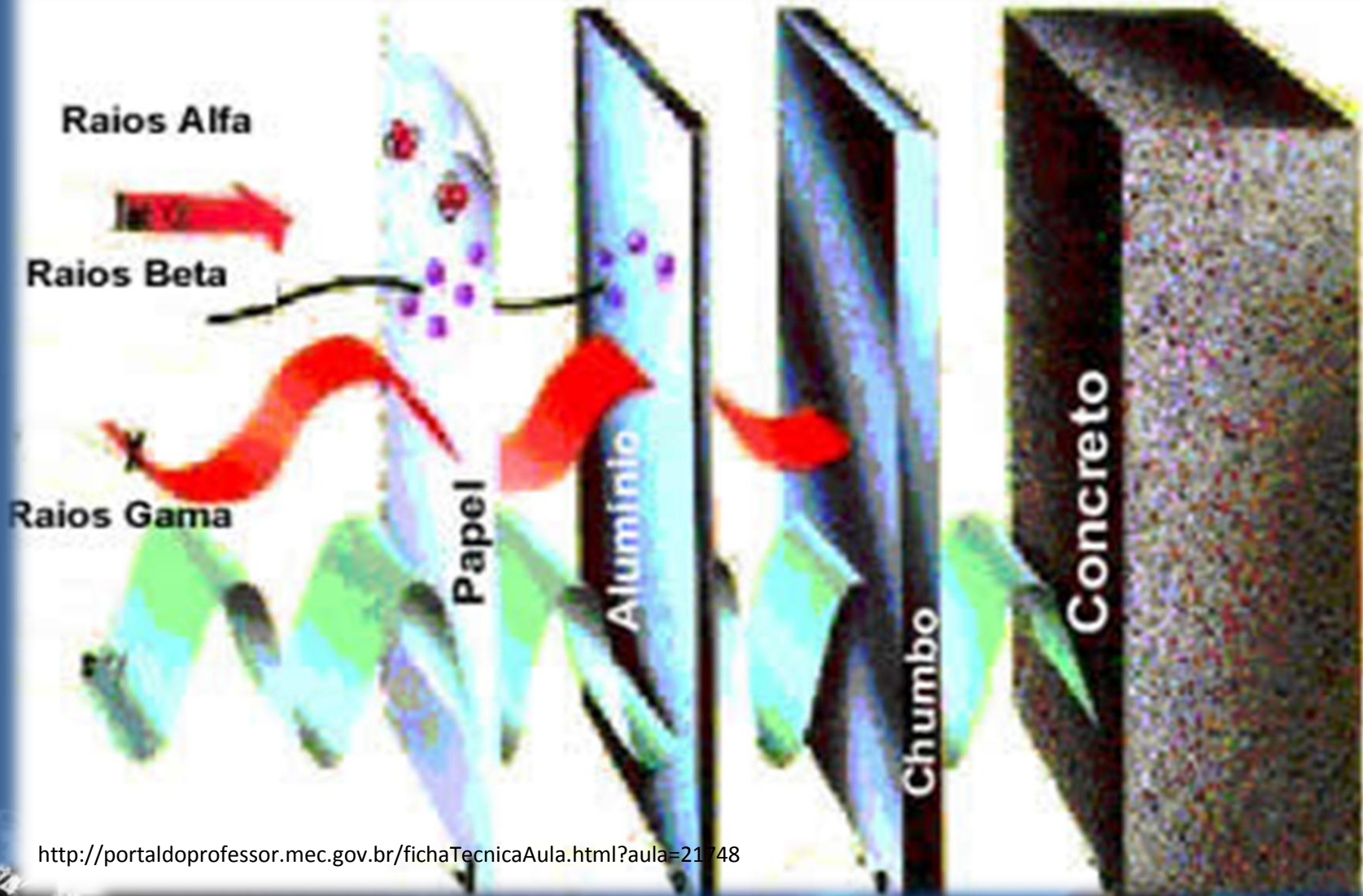
1A																	8A
1	2											3A	4A	5A	6A	7A	2
H	He											B	C	N	O	F	Ne
Hidrogênio	Hélio											Boro	Carbono	Nitrogênio	Oxigênio	Fluor	Neônio
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Lítio	Bélio											Boro	Carbono	Nitrogênio	Oxigênio	Fluor	Neônio
11	12	3B	4B	5B	6B	7B	8B	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A		
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	B	C	N	O	F	Ne		
Sódio	Magnésio	Alumínio	Silício	Fósforo	Enxofre	Cloro	Argônio	Potássio	Cálcio	Boro	Carbono	Nitrogênio	Oxigênio	Fluor	Neônio		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Potássio	Cálcio	Escândio	Titânio	Vanádio	Cromo	Manganês	Ferro	Cobalto	Níquel	Cobre	Zinco	Gálio	germânio	Ársênio	Selênio	Bromo	Kriptônio
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Rubídio	Estrôncio	Ítrio	Zrônio	Níbio	Molibdênio	Tecnécio	Rútenio	Ródio	Paládio	Prata	Cádmio	Índio	Estanho	Antimônio	Telúrio	Iodo	Xenônio
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Césio	Bário		Háfênio	Tântalo	Tungstênio	Rênio	Osmio	Írídio	Platina	Ouro	Mercúrio	Tlúmio	Chumbo	Bismuto	Polônio	Astato	Rádônio
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
Frâncio	Rádio		Rúterfórum	Dubnio	Seabórgio	Bólio	Háscio	Mitânio	Darmstádio	Roentgênio	Copernício	Ununtrio	Ununquádruplo	Ununpentio	Ununsexto	Ununseto	Ununoctóvio
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			
Lantânio	Célio	Praseodímio	Néodímio	Promécio	Samaritelo	Europio	Gadolínio	Térbio	Dissprósio	Hólmio	Érbio	Ítrio	Ítrio	Lúcio			
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			
Actínio	Tório	Protactínio	Uránio	Neptúncio	Plutônio	Americônio	Cúrio	Bérgório	Califórnio	Einsteinio	Férmio	Mendelevio	Nébio	Lúrcio			

<http://pt.dreamstime.com/imagens-de-stock-tabela-do-formul%C3%A1rio-de-ur%C3%A2nio-de-elementos-peri%C3%B3dica-image8148654>



## PENETRAÇÃO DAS RADIAÇÕES NA MATÉRIA





<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=21748>



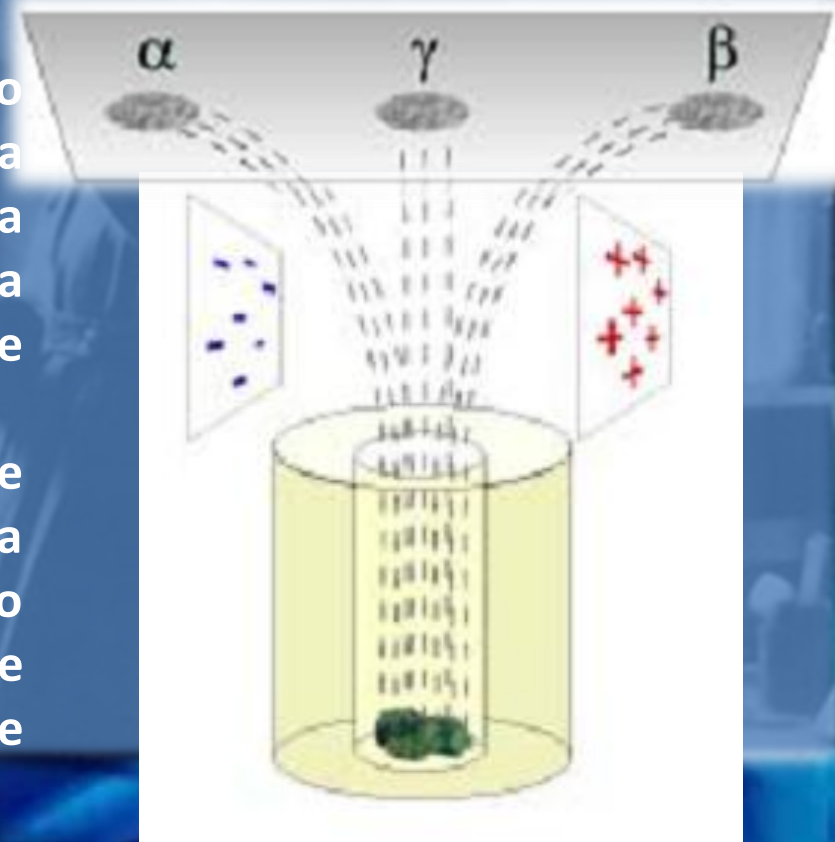
# PARTÍCULAS E ONDAS

Conforme foi descrito, as radiações nucleares podem ser de dois tipos:

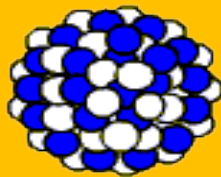
a) partículas, possuindo massa, carga elétrica e velocidade, esta dependente do valor de sua energia;

b) ondas eletromagnéticas, que não possuem massa e se propagam com a velocidade de 300.000 km/s, para qualquer valor de sua energia. São da mesma natureza da luz e das ondas de transmissão de rádio e TV.

A identificação desses tipos de radiação foi feita utilizando-se uma porção de material radioativo, com o feixe de radiações passando por entre duas placas polarizadas com um forte campo elétrico.



antes do  
decaimento



núcleo pai

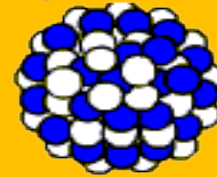


núcleo pai



núcleo excitado

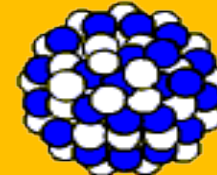
depois do  
decaimento



núcleo filho (2 prótons e  
2 nêutrons a menos)



núcleo filho  
(1 próton extra e  
1 nêutron a menos)



núcleo

+



partícula alfa  
(núcleo de He)

+



partícula beta  
(elétron)

+



raios gama  
(fótons de alta  
energia)



# ATIVIDADE DE UMA AMOSTRA

Os núcleos instáveis de uma mesma espécie (mesmo elemento químico) e de massas diferentes, denominados radioisótopos, não realizam todas as mudanças ao mesmo tempo.

As emissões de radiação são feitas de modo imprevisível e não se pode adivinhar o momento em que um determinado núcleo irá emitir radiação.

Entretanto, para a grande quantidade de átomos existente em uma amostra de material radioativo é razoável esperar-se um certo número de emissões ou transformações em cada segundo. Essa “taxa” de transformações é denominada atividade da amostra.

# UNIDADE DE ATIVIDADE

A atividade de uma amostra com átomos radioativos (ou fonte radioativa) é medida em:

**Bq** (Becquerel) = uma desintegração por segundo

**Ci** (Curie) =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq

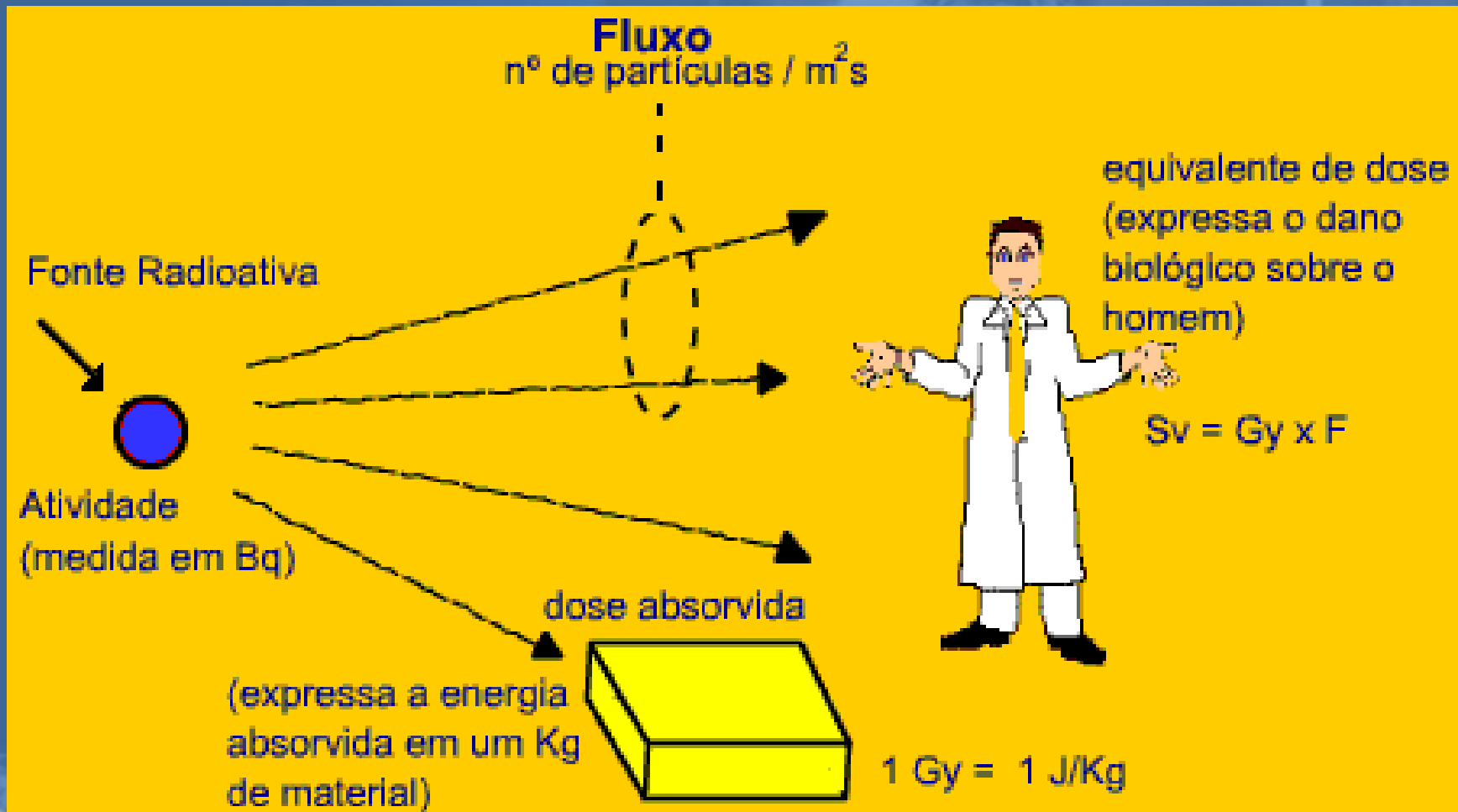
Uma outra unidade importante é a da energia absorvida por um organismo quando a radiação ionizante o atinge. Quando a energia de 1 Joule (J) é absorvida por um quilograma de material dizemos que a dose absorvida é 1 Gray (Gy).

Para expressar o dano sobre o homem existe uma outra unidade chamada Sievert (Sv).



# RELAÇÕES ENTRE AS UNIDADES RADIOLÓGICAS

[Martin & Harbison - 72]



# MEIA-VIDA

Cada elemento radioativo, seja natural ou obtido artificialmente, se transmuta (se desintegra ou decai) a uma velocidade que lhe é característica.

Para se acompanhar a duração (ou a “vida”) de um elemento radioativo foi preciso estabelecer uma forma de comparação.

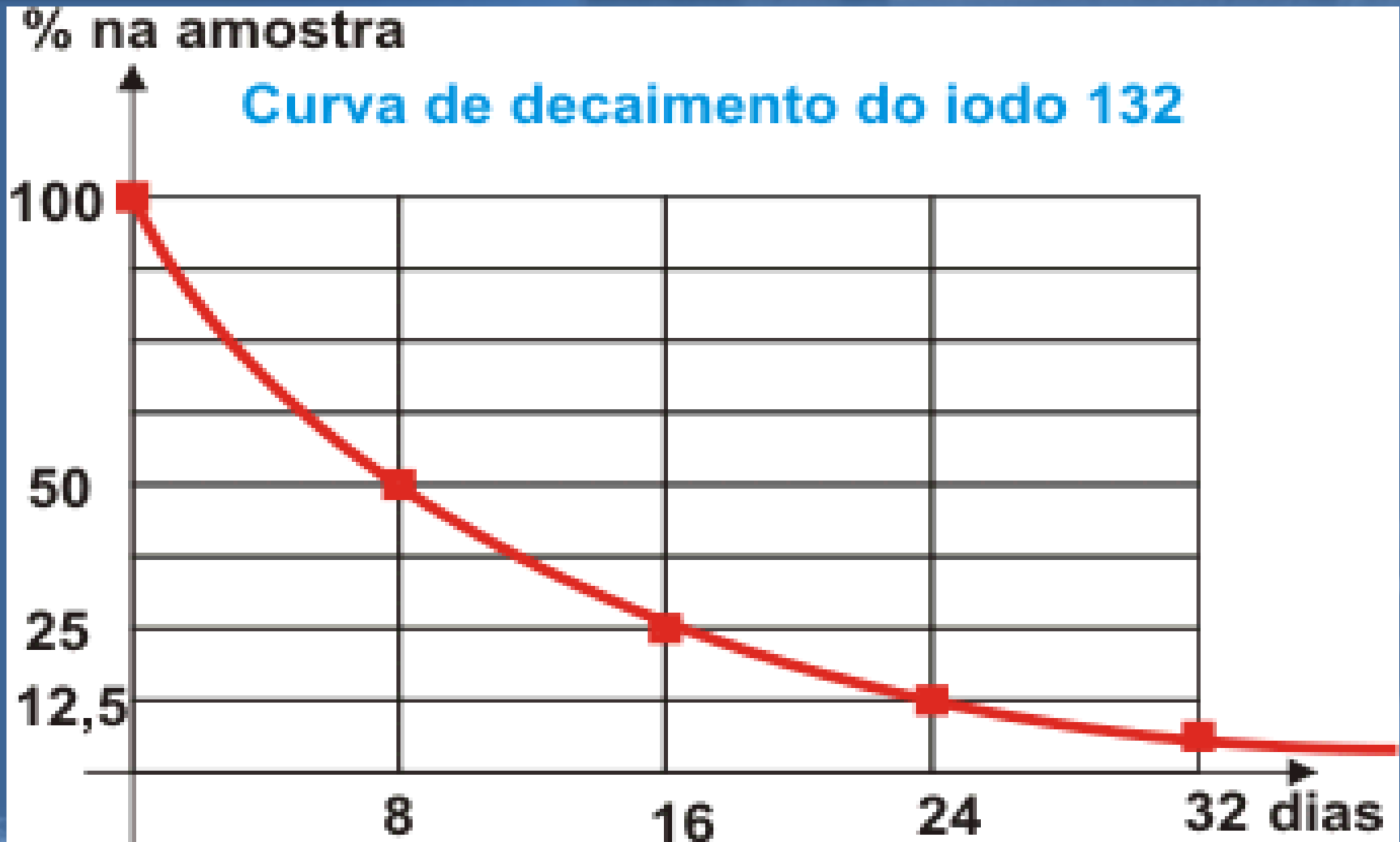
Por exemplo, quanto tempo leva para um elemento radioativo ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial ? Esse tempo foi denominado meia-vida do elemento.





Elemento	Meia-vida, $t_{1/2}$	Tipo de radiação emitida
$^{238}\text{U}$ (urânio, $z = 92$ )	4,5 bilhões de anos	
$^{234}\text{Th}$ (tório, $z = 90$ )	24,1 dias	$\alpha$
$^{234}\text{Pa}$ (protactínio, $z = 91$ )	1,17 min	$\beta$
$^{234}\text{U}$ (urânio, $z = 92$ )	245 mil anos	$\beta$
$^{230}\text{Th}$ (tório, $z = 90$ )	8 mil anos	$\alpha$
$^{226}\text{Ra}$ (rádio, $z = 88$ )	1620 anos	$\alpha$
$^{222}\text{Rn}$ (radônio, $z = 86$ )	3,8 dias	$\alpha$
$^{218}\text{Po}$ (polônio, $z = 84$ )	3,1 min	$\alpha$
$^{214}\text{Pb}$ (chumbo, $z = 82$ )	26,8 min	$\alpha$
$^{214}\text{Bi}$ (bismuto, $z = 83$ )	19,7 min	$\beta$
$^{214}\text{Po}$ (polônio, $z = 84$ )	0,2 ms	$\beta$
$^{210}\text{Pb}$ (chumbo, $z = 82$ )	22,3 anos	$\alpha$
$^{210}\text{Bi}$ (bismuto, $z = 83$ )	5,0 dias	$\beta$
$^{210}\text{Po}$ (polônio, $z = 84$ )	138,4 dias	$\alpha$
$^{206}\text{Pb}$ (chumbo, $z = 82$ )	ESTÁVEL	

[http://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_energianuclear](http://www.crq4.org.br/quimicaviva_energianuclear)

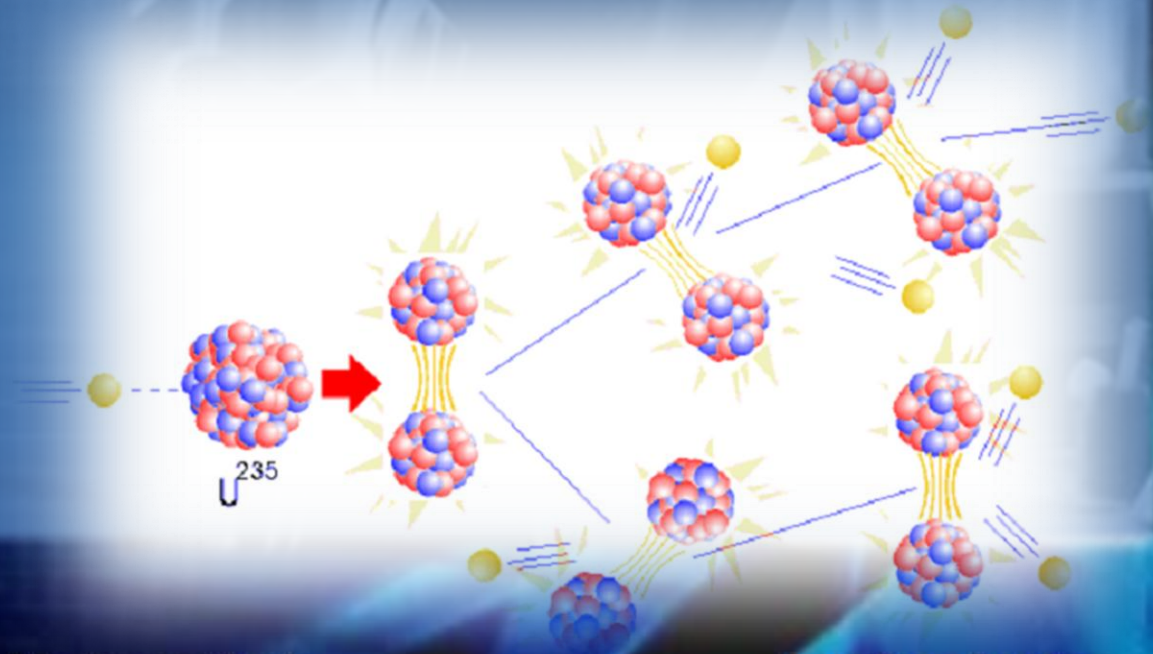


[http://alfaconnection.net/pag\\_avsf/rad0101.htm](http://alfaconnection.net/pag_avsf/rad0101.htm)



# REAÇÃO EM CADEIA

Na realidade, em cada reação de fissão nuclear resultam, além dos núcleos menores, dois a três nêutrons, como consequência da absorção do nêutron que causou a fissão. Torna-se, então, possível que esses nêutrons atinjam outros núcleos de urânio-235, sucessivamente, liberando muito calor. Tal processo é denominado Reação de Fissão Nuclear em Cadeia ou, simplesmente, Reação em Cadeia.



## SÉRIES RADIOATIVAS OU FAMÍLIAS RADIOATIVAS NATURAIS

No estudo da radioatividade, constatou-se que existem apenas 3 séries ou famílias radioativas naturais, conhecidas como:

*Série do Urânio, Série do Actínio e Série do Tório.*

A Série do Actínio, na realidade, inicia-se com o urânio-235 e tem esse nome, porque se pensava que ela começava pelo actínio-227.

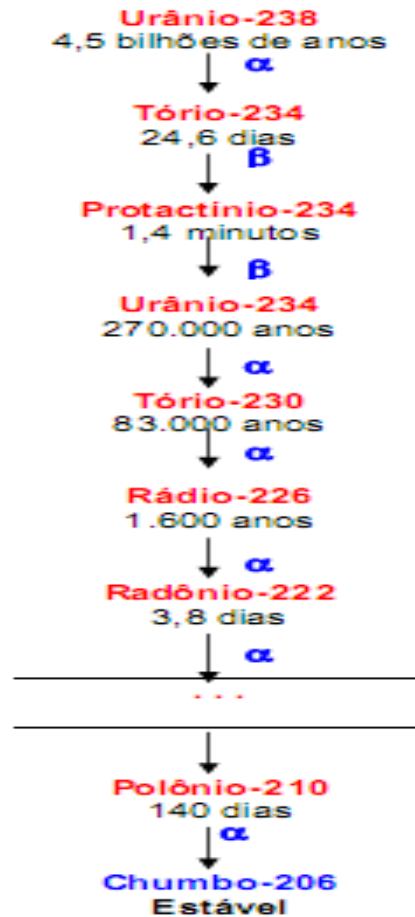
As três séries naturais terminam em isótopos estáveis do chumbo, respectivamente,

*chumbo-206, chumbo-207 e chumbo-208.*

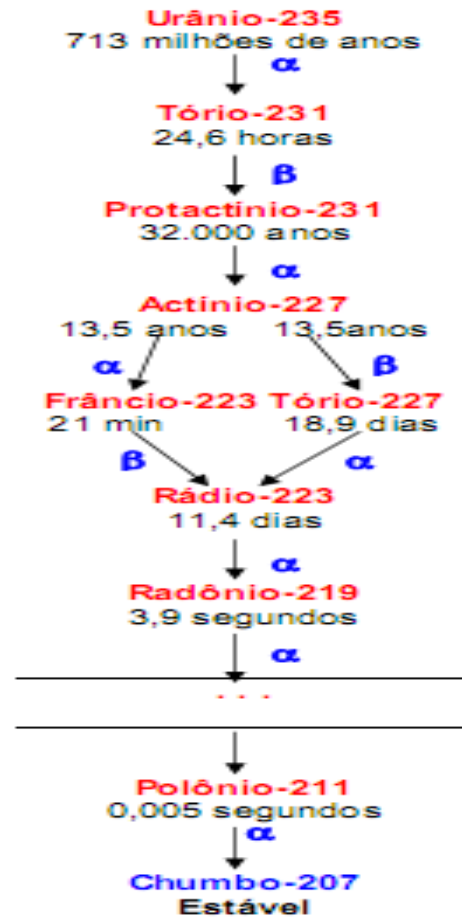


## SÉRIES RADIOATIVAS NATURAIS

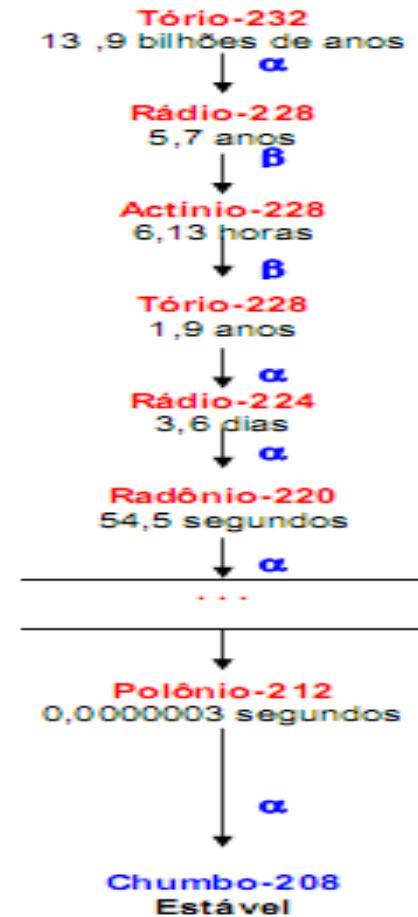
### SÉRIE DO URÂNIO



### SÉRIE DO ACTÍNIO



### SÉRIE DO TÓRIO



## Urânio-235 e Urânio-238

O urânio-235 é um elemento químico que possui 92 prótons e 143 nêutrons no núcleo.

Além do urânio-235, existem na natureza, em maior quantidade, átomos com 92 prótons e 146 nêutrons (massa igual a 238). São também átomos do elemento urânio, porque têm 92 prótons, ou seja, número atômico 92. Trata-se do urânio-238, que só tem possibilidade de sofrer fissão por nêutrons de elevada energia cinética (os nêutrons “rápidos”).

Já o urânio-235 pode ser fissionado por nêutrons de qualquer energia cinética, preferencialmente os de baixa energia, denominados nêutrons térmicos (“lentos”).



## ENRIQUECER URÂNIO

### » URÂNIO NATURAL



1

**Extração:** o mineral se encontra nas rochas que se extraem das minas de urânio



2

**Concentração:** é a etapa de trituração e dissolução química para extrair o urânio em forma de pó amarelo

### » PROCESSO DE ENRIQUECIMENTO

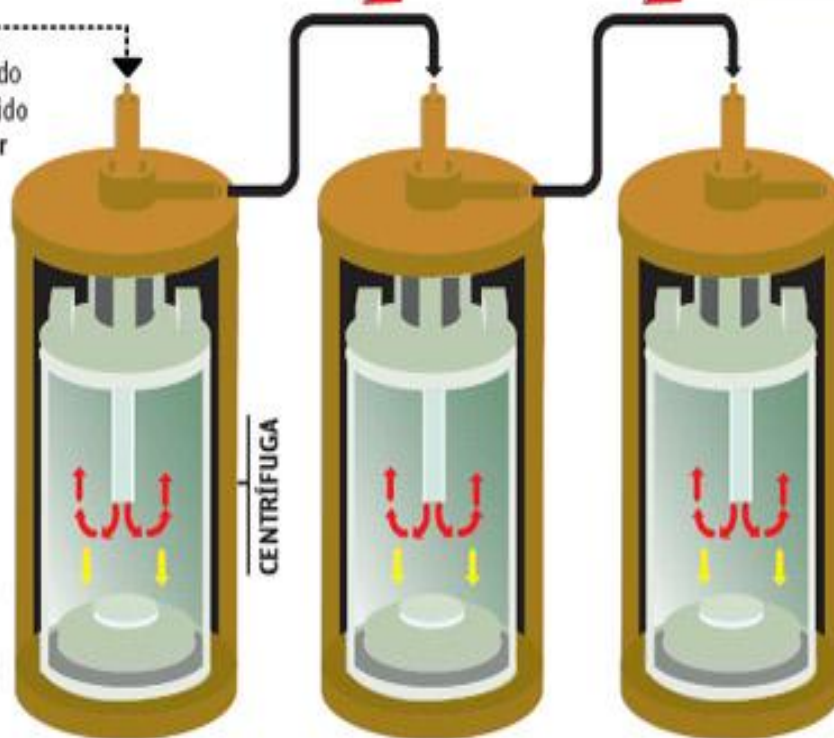
4 Consiste em aumentar a percentagem de urânio 235, separando-o do urânio 238 no centrifugador. O gás enriquecido em U235 é enviado a um segundo centrifugador

3 **Conversão:** é a mistura com fluorina para obter um gás

O urânio em estado gasoso é introduzido no centrifugador

O **U235**, mais leve, sobe

O **U238**, mais pesado, vai para o fundo e é extraído



O gás enriquecido em U235 é enviado a um segundo centrifugador

O processo se repete em uma série de centrifugadores

### » USOS



**CIVIL**  
São necessários de 4 a 5% de U235 (urânio enriquecido) para alimentar as centrais nucleares

**MILITAR**  
Aumento de U235 até pelo menos 90% para fabricar bombas nucleares



### » O PROCESSO

24 cascatas de 164 centrifugas enriquecem urânio natural a:

→ **3,5%**

8 cascatas de 164 centrifugas para enriquecer:

→ **20%**

4 cascatas de 114 centrifugas para enriquecer:

→ **60%**

2 cascatas de 64 centrifugas para enriquecer:

→ **90%**

# O contador Geiger

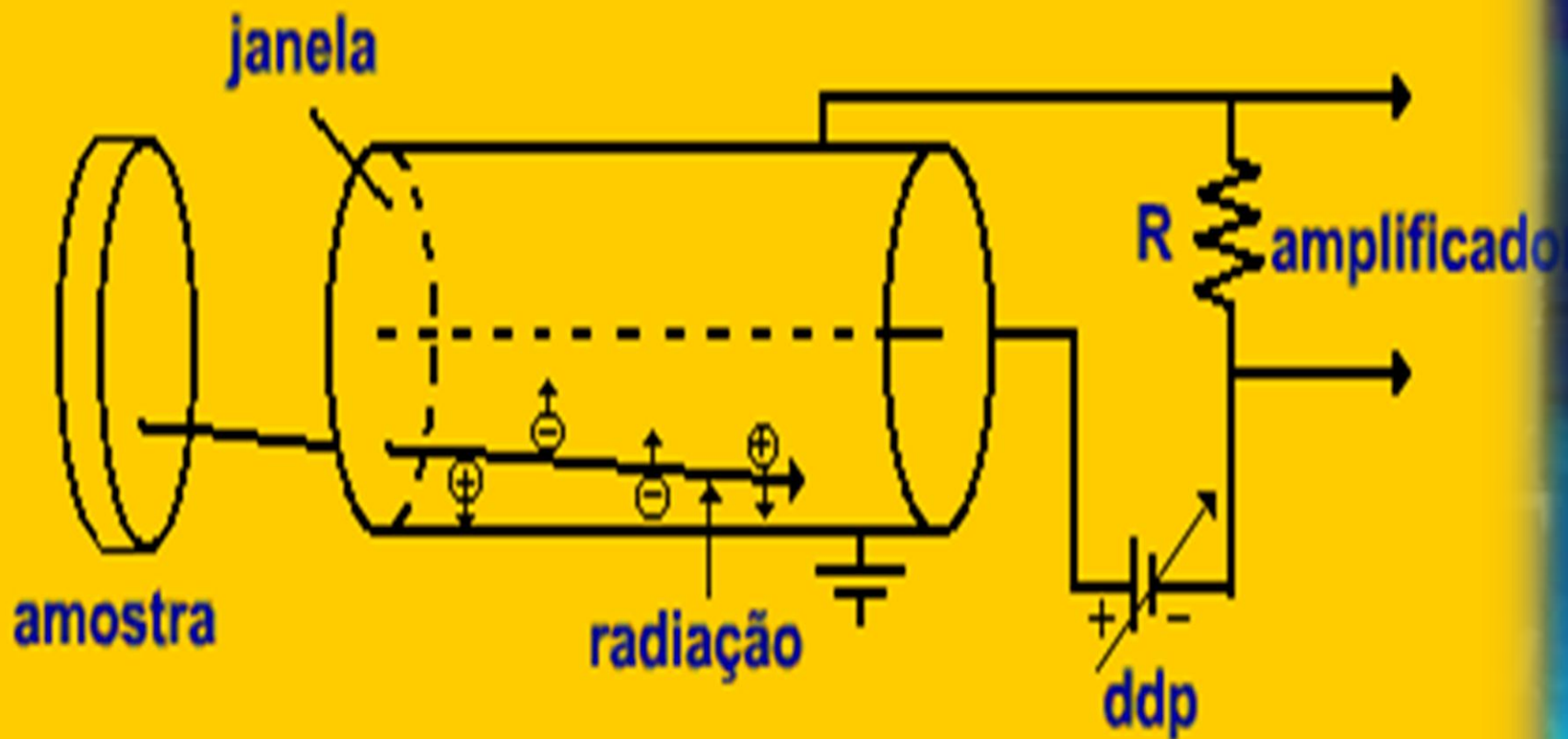
O contador Geiger é um aparelho que serve para medir a radiação emitida por uma fonte radioativa, utilizando a propriedade da ionização (retirada de elétrons) que a radiação possui.

O aparelho é constituído basicamente de um tubo cilíndrico sensível à radiação, contendo um gás em seu interior, conectado a uma bateria.

Quando a radiação penetra no cilindro arranca elétrons das moléculas do gás. Estes elétrons entram em movimento devido à ação de um forte campo elétrico e colidem com outras moléculas, dando origem a uma "cadeia de ionização", antes de serem atraídos para um filamento carregado positivamente disposto ao longo do cilindro.

Quando eles o atingem geram um rápido pulso (variação) de tensão. Este sinal provocará o deslocamento de um ponteiro na escala do aparelho e/ou um sinal audível o que indicará a quantidade e/ou presença de radiação.





## *O que existe na Natureza*

Os átomos radioativos fazem parte de nosso meio ambiente, estão nos alimentos e nos seres vivos! Existem cerca de 340 nuclídeos naturais dentre os quais, aproximadamente, 70 são radioativos. (Todos elementos com  $Z > 80$  possuem isótopos radioativos e todos isótopos de elementos com  $Z > 82$  são radioativos).





## Na Crosta Terrestre

A crosta terrestre é constituída basicamente por granito, basalto e por uma camada, o solo, formada por materiais procedentes da erosão de rochas próximas.

Os elementos radioativos que contribuem em maior parte para sua radioatividade são o U (urânio), o Th (tório) e o K-40 (potássio-40).

- **Urânio**
  - *Não existe livre na natureza;*
  - *abundância: 40 vezes maior que a prata e 800 vezes maior que o ouro;*
  - *a maioria de seus compostos são insolúveis;*
- **Tório**
  - *não se encontra livre na natureza;*
  - *possui jazidas menos dispersas que as de urânio;*
- **Potássio 40**
  - *não existe livre na natureza;*
  - *encontra-se na maioria dos silicatos;*
  - *é um componente do K-natural que é muito mais abundante que o U e o Th;*

O Brasil possui minas de urânio e tório localizadas principalmente em Poços de Caldas, Minas Gerais. Em Guarapari, Espírito Santo, existem as chamadas areias monazíticas que contém fosfatos de tório.

Do ponto de vista da radioatividade, tanto da crosta terrestre quanto da atmosfera, são importantes o radônio e o torônio. Esses gases provém (emanam) das porosidades, fissuras e grutas existentes na crosta terrestre, devido aos materiais que compõem os diversos tipos de rochas, atingindo e misturando-se ao ar e a água.





## Na Atmosfera

A radioatividade na atmosfera procede:

- *dos raios cósmicos*
- *de sedimentos radioativos procedentes de provas nucleares*
- *das séries radioativas (radônio e torônio, principalmente)*

A radiação cósmica tem origem no espaço exterior e consta de:

- *79% de prótons*
- *20% de partículas alfa*
- *0,7% de núcleos de carbono, nitrogênio e oxigênio*
- *0,3% de outros núcleos*

## Na Hidrosfera

A hidrosfera compreende as águas dos oceanos, rios e lagos que estão em constante ciclo de evaporação, difusão na atmosfera e precipitação (em forma de chuva e/ou neve), e as águas subterrâneas que surgem a partir da filtração, pelo solo, das correntes de águas superficiais.

A concentração de elementos radioativos presentes nos diversos tipos de água dependerá dos processos que as originam e dos locais de onde provém.



