

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

**Curso de Especialização em Ciências Radiológicas**

**Aplicações Industriais das Radiações Ionizantes**

## **Radioatividade**

Prof. Sergio V. Möller, Dr.-Ing.  
LMF – Laboratório de Mecânica dos Fluidos  
*UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL*  
Rua Sarmento Leite, 425  
90050-170 Porto Alegre, RS  
F: 51- 3316 3228, Fax:3316 3255  
svmoller@vortex.ufrgs.br  
<http://www.mecanica.ufrgs.br/lmf>

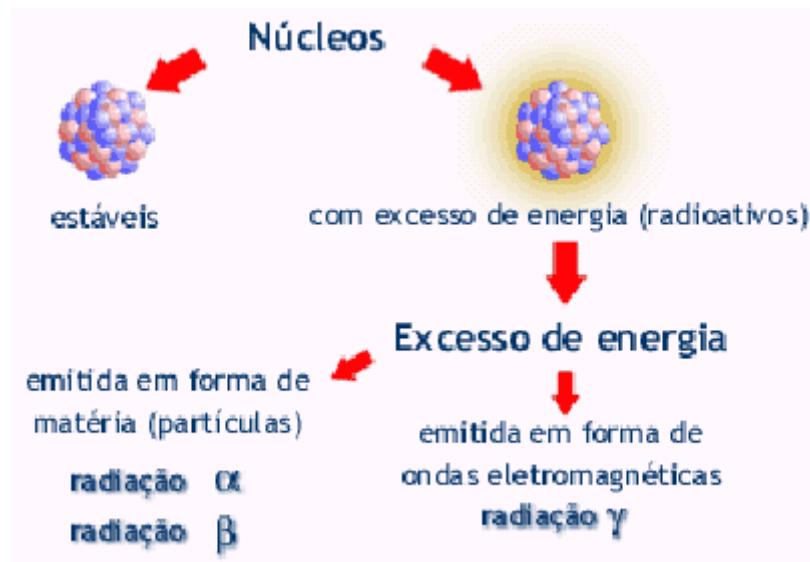
# Radioatividade

## INTRODUÇÃO

Em 1895, Roentgen descobriu um tipo de radiação que atravessava corpos opacos, apesar de serem absorvidos em parte por eles. Esses raios têm a propriedade de excitar substâncias fosforizantes ou fluorescentes, impressionam placas fotográficas e aumentam a condutividade elétrica do ar que atravessam (ionização). Como eram de natureza desconhecida, foram denominados Raios-X. Em 1896, Becquerel estabeleceu que sais de Urânio emitem radiações análogas aos Raios-X e que impressionavam chapas fotográficas, o que já havia sido observado em 1867 por Saint Victor, sem que se pudesse tirar proveito dessa descoberta, dada a limitação do conhecimento científico então.

Outros elementos pesados, com massas próximas à do urânio, como o rádio e o polônio, também tinham a mesma propriedade. 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.



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 um parâmetro, dado pelo tempo que leva para um elemento radioativo ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial. Esse tempo foi denominado meia-vida do elemento.

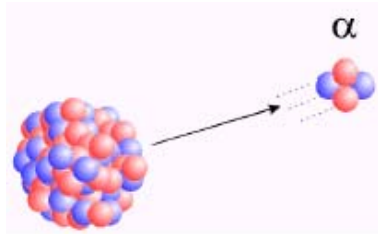
Meia-vida, portanto, é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial.

## PARTÍCULAS E ONDAS

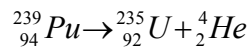
As radiações nucleares podem ser de dois tipos: a) partículas, possuindo massa, carga elétrica e velocidade, esta dependente do valor de sua energia; b) ondas eletromagnéticas, que não possuem massa e se propagam com a velocidade de 300.000 km/s, para qualquer valor de sua energia. São da mesma natureza da luz e das ondas de rádio e TV.

## RADIAÇÃO ALFA OU PARTÍCULA ALFA

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



Exemplo:

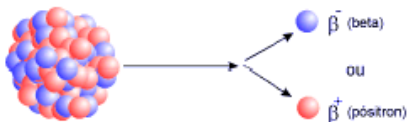


## RADIAÇÃO BETA OU PARTÍCULA BETA

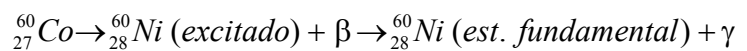
Outra forma de estabilização, quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação a prótons, é através da emissão de uma partícula negativa, um elétron, resultante da conversão de um nêutron em um próton. É a partícula beta negativa ou, simplesmente, partícula beta.

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).

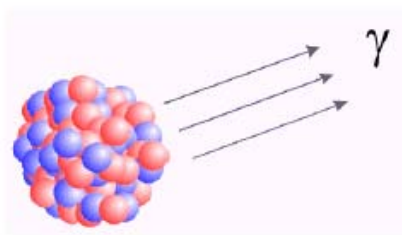


Exemplo:

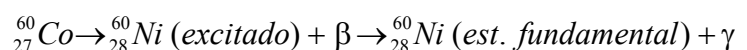


## RADIAÇÃO GAMA

Geralmente, após a emissão de uma partícula alfa (α) ou beta (β), o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética de comprimento de onda muito curto, da mesma natureza da luz, denominada radiação gama.

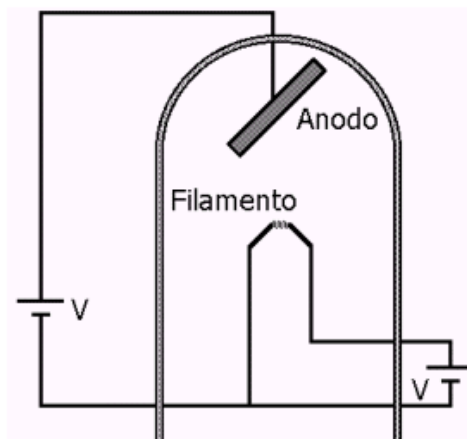


Exemplo:



## RAIOS-X

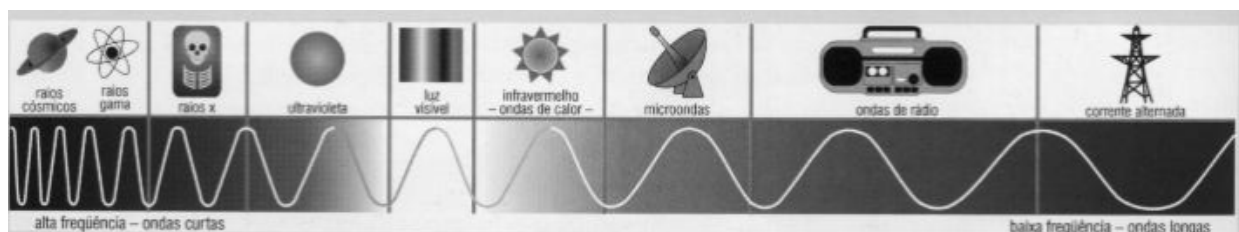
Os raios X são emissões de natureza eletromagnética, com comprimento de onda extremamente pequeno, porém maior que o raio Gama, produzidas pela desaceleração de partículas carregadas ou pela transição de elétrons nos átomos. O aparelho produtor de raios X denomina-se tubo de Coolidge. Dentro deste tubo em alto vácuo, um cátodo incandescente produz um fluxo de elétrons puros que é acelerado por uma grande diferença de potencial entre o cátodo e um ânodo metálico. Este ânodo pode ser confeccionado de qualquer metal, porém em aplicações comerciais é feito de Tungstênio (W) por seu alto ponto de fusão. Além disso, o ânodo é oco, o que permite resfriá-lo mediante a circulação de água ou óleo em seu interior. O vácuo dentro do tubo destina-se a evitar o enfraquecimento ou o desvio de elétrons do feixe original.



Esquema de um tubo emissor de Raios-X.

Os raios X ionizam os gases que atravessam, impressionam chapas fotográficas e se deslocam em linha reta, mas não são desviados pela ação de campos elétricos ou magnéticos. Além disso, descarregam os corpos eletrificados, qualquer que seja a polaridade da carga, como foi demonstrado por Elihu Thomson em 1896.

Alguns efeitos dos raios X, como sua ação sobre chapas fotográficas ou o aquecimento de uma lâmina de chumbo, podem ser empregados para medir sua intensidade. Os processos mais usuais de medição dos raios X, no entanto, empregam os efeitos da propriedade que têm de ionizar os gases, numa câmara de ionização ou pelo uso de contadores Geiger-Müller.

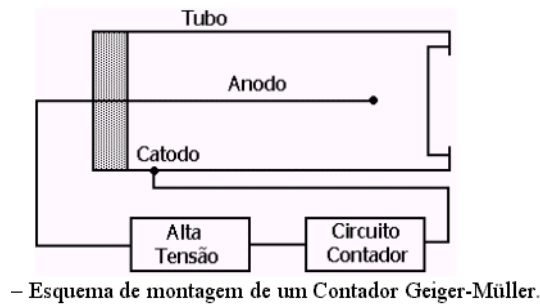


Ondas eletromagnéticas.

## CONTADOR GEIGER-MÜLLER

O contador Geiger-Müller é constituído por um eletrodo central, coaxial a um cilindro de paredes condutores; entre os dois se estabelece um campo elétrico com o eletrodo central positivo. O tubo contém gás (hélio, argônio,...) a pressão reduzida. Uma partícula que penetra

no dispositivo provoca a formação de íons e elétrons livres do gás; estes são capturados pelo eletrodos central, depois de se multiplicarem (avalanche) pela colisão com as moléculas do gás, e geram um impulso elétrico que é registrado no circuito contador.



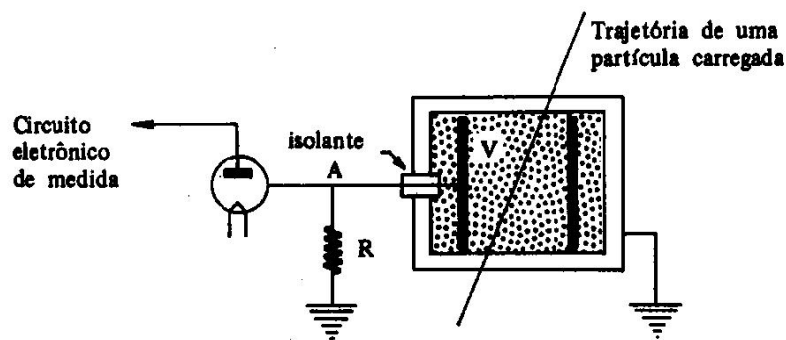
Contadores Geiger-Müller portáteis.

### CÂMARA DE IONIZAÇÃO

Uma câmara de ionização consiste de uma câmara contendo uma mistura de gases, muitas vezes o próprio ar atmosférico, geralmente encerrada em um recipiente cilíndrico, na qual é aplicada uma diferença de potencial. Essas câmaras possuem duas placas sobre as quais uma diferença de potencial de 100 a 250 V é aplicada. Uma das placas é o eletrodo negativo, enquanto a segunda placa é o eletrodo positivo. Sendo o gás (ar nas CNTP) um dielétrico, não há passagem de corrente de uma placa para a outra. Quando uma partícula penetra na câmara e provoca a ionização do gás contido em seu interior, os íons formados se deslocam para a placa com a polaridade contrária à sua polaridade, estabelecendo-se assim uma corrente elétrica de uma placa à outra. Um instrumento para medir a passagem de corrente (amperímetro) é ligado em série com o detetor. Uma câmara de ionização não conta pulsos, portanto, como um detetor Geiger-Müller, mas há correspondência direta entre o número  $N$  de íons-par coletados e a corrente de saturação  $I_s$  estabelecida, assim

$$I_s = N \cdot e \tag{1}$$

onde  $e$  é a carga de um elétron (íon  $^-$ ).



Esquema de uma câmara de ionização.

## 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

## MEIA VIDA

Meia-vida, é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial.

Vejamos o caso do iodo-131, utilizado em Medicina Nuclear para exames de tireóide, que possui uma meia-vida de oito dias. Isso significa que, decorridos 8 dias, atividade ingerida pelo paciente será reduzida à metade. Passados mais 8 dias, cairá à metade desse valor, ou seja,  $\frac{1}{4}$  da atividade inicial e assim sucessivamente. Após 80 dias (10 meias-vidas), atingirá um valor cerca de 1000 vezes menor.

Um dos mais belos exemplos de aplicação do conceito de meia vida é na datação de fósseis, mostrando que o homem chegou ao Brasil cerca de 50.000 anos atrás, e relíquias, como o Santo Sudário e a Távola Redonda, onde se utilizou a técnica do Carbono-14 (meia-vida 5.730 anos).

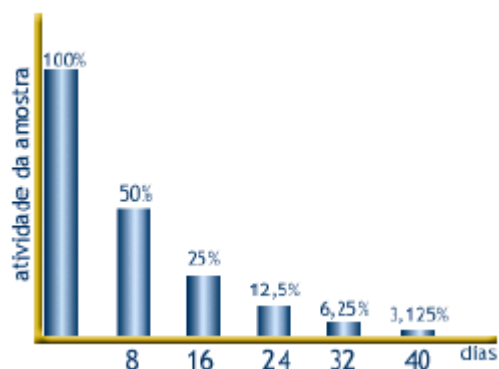
Após transcorrido um intervalo de tempo  $t$ , uma amostra de um dado elemento, contendo inicialmente  $N_0$  núcleos radioativos terá  $N$  núcleos daquele elemento original, assim

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

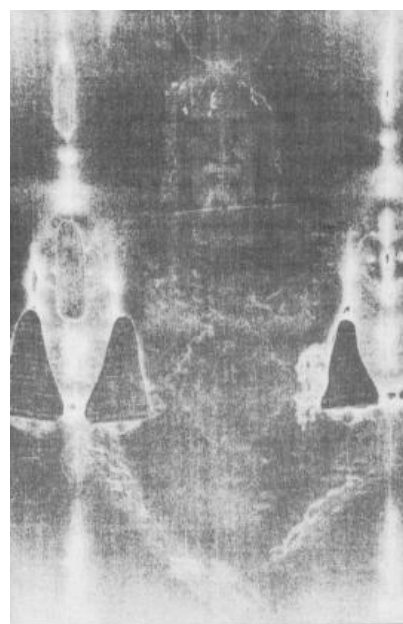
onde  $\lambda$  é a constante de decaimento do elemento.

Esta expressão pode ser escrita em termos da atividade final  $A$  e seu valor inicial  $A_0$

$$A = A_0 \exp(-\lambda t) \quad (3)$$



Decaimento de uma amostra.



O Santo Sudário (negativo da foto).

Pode-se definir matematicamente meia-vida  $t_{1/2}$ , fazendo-se

$$\frac{N}{N_0} = \frac{A}{A_0} = \frac{1}{2} = \exp(-\lambda t_{1/2}) \quad (4)$$

Logo,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,6931}{\lambda} \quad (5)$$

## ELEMENTOS RADIOATIVOS NATURAIS - AS FAMÍLIAS RADIOATIVAS

Na natureza existem elementos radioativos que realizam transmutações ou desintegrações sucessivas, até que o núcleo atinja uma configuração estável. Isso significa que, após um decaimento radioativo, o núcleo não possui, ainda, uma organização interna estável e, assim, ele executa outra transmutação para melhorá-la e, ainda não conseguindo, prossegue, até atingir a configuração de equilíbrio.

Em cada decaimento, os núcleos emitem radiações dos tipos alfa, beta e/ou gama e cada um deles é mais organizado que o núcleo anterior. Essas seqüências de núcleos são denominadas 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. Os principais elementos das séries acima mencionadas são apresentados na página seguinte.

## ELEMENTOS RADIOATIVOS ARTIFICIAIS

Uma série de elementos radioativos não é encontrada na natureza. Um exemplo bastante conhecido é o Plutônio (Pu 239), resultante da absorção de um nêutron por um núcleo de urânio (U 238), em um reator nuclear.

Nas aplicações industriais e na medicina, os mais conhecidos são o Cobalto 60 e o Césio 137.

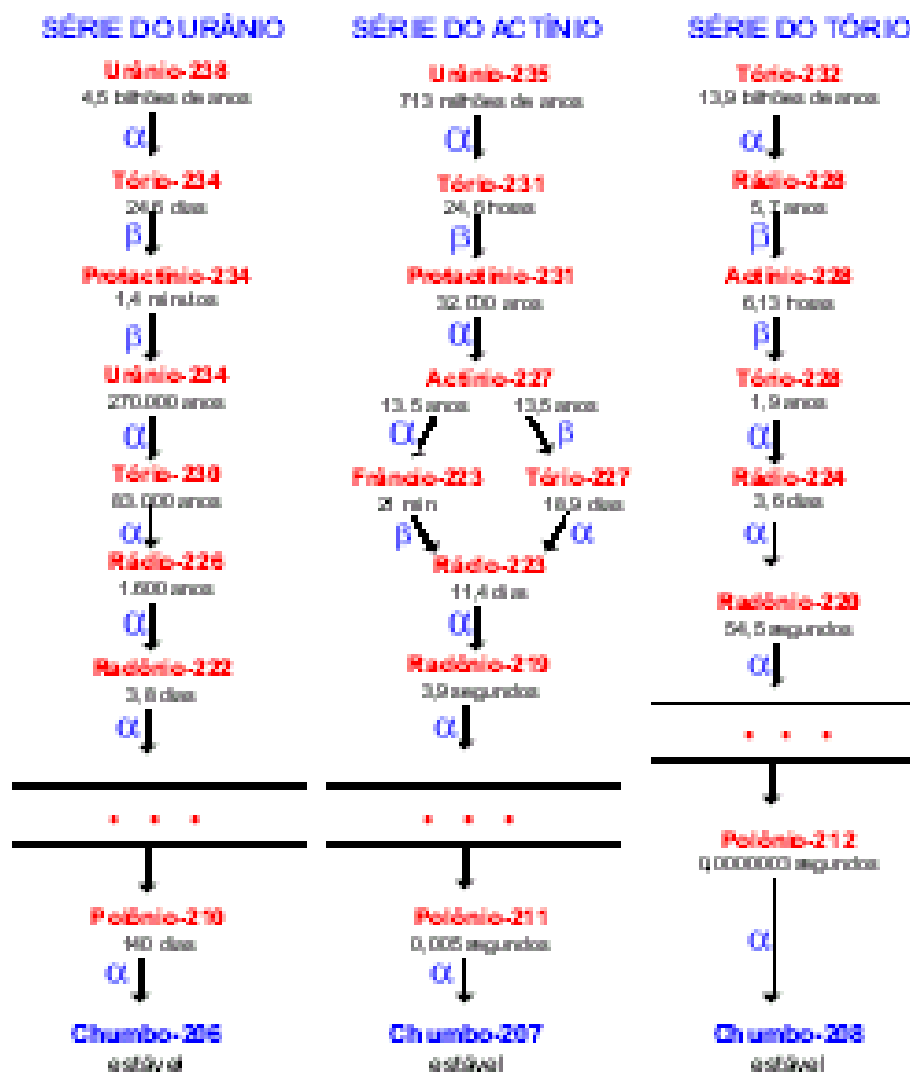
### **Cobalto-60**

O Cobalto (Co) é um metal duro, de cor cinza azulada, encontrado de forma estável (não radioativo) na natureza. Tem características parecidas com o ferro, podendo, inclusive, ser magnetizado. O isótopo radioativo mais conhecido é o Cobalto 60, descoberto por Glenn T. Seaborg and John Livingood na Universidade da Califórnia - Berkeley na década de 30.

O Cobalto não radioativo ocorre em vários minerais, e foi utilizado durante centenas de anos para dar coloração azulada à cerâmicas e ao vidro. O radionuclídeo Cobalto-60 é produzido para uso comercial em aceleradores lineares, mas também surge como produto da operação de reatores nucleares, quando materiais estruturais, como o aço, são expostos à radiação. Sua meia-vida é de 5,27 anos e decai em Níquel-60 por emissão Beta e Gama.

O Cobalto-60 é utilizado em muitas aplicações, em radiografia (gamagrafia) industrial, como medidores de nível, de espessura, esterilização de objetos e alimentos e em radioterapia em hospitais. Nas aplicações médicas e industriais, o Cobalto-60 (assim como outros radionuclídeos) é encapsulado em metal blindado, recebendo o nome de fontes de radiação.

## SÉRIES RADIOATIVAS NATURAIS

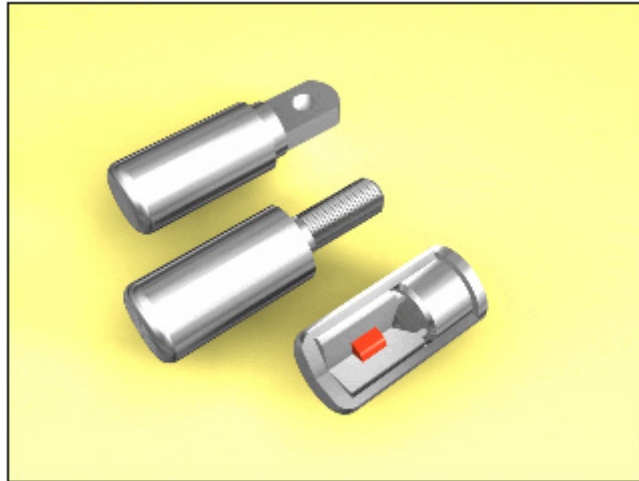


### Césio-137

O Césio (Cs) é um metal encontrado em forma estável na natureza em vários minerais. O mais conhecido isótopo é o Césio-137, mas há também o Césio-134. Foi descoberto na Universidade da Califórnia-Berkeley na década de 30 por Glenn T. Seaborg e sua colega, Margaret Melhase.

O Césio-137 é um dos produtos de fissão tanto do Urânio como do Plutônio. É um metal macio, maleável de cor branca prateada. É um dos três metais encontrados em estado líquido a temperatura ambiente (~28°C), tem uma meia vida de 30 anos e decai por emissão Beta e Gama em Bário-137.

É utilizado na indústria em medidores de densidade, nível, espessura e para a caracterização de rochas na perfuração de poços de petróleo. Na medicina é utilizado em radioterapia no tratamento de câncer.



Fontes radioativas para uso industrial (seladas).

## EXEMPLO

Rutherford assumiu que, quando a Terra foi formada, haviam quantidades iguais de urânio 235 e 238. A partir dessa hipótese seria possível determinar a idade da Terra, e a resposta encontrada não foi muito diferente da idade obtida por dados astronômicos. Determinar a idade da Terra, de acordo com a hipótese de Rutherford.

### Solução:

Deve-se, inicialmente, conhecer a meia vida e a abundância natural dos isótopos. Desconsiderando-se o  $^{234}\text{U}$  (0,006 %), tem-se

$$t_{1/2} (^{235}\text{U}) = 7,13 \cdot 10^8 \text{ anos, } 99,274 \%$$

$$t_{1/2} (^{238}\text{U}) = 4,5 \cdot 10^9 \text{ anos, } 0,720 \%$$

Na formação da Terra

$$N_0(^{235}\text{U}) = N_0(^{238}\text{U})$$

Como (Eq. 2)

$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$

tem-se

$$\frac{N(^{235}\text{U})}{\exp[-\lambda(^{235}\text{U}) \cdot t]} = \frac{N(^{238}\text{U})}{\exp[-\lambda(^{238}\text{U}) \cdot t]}$$

Reordenando-se, pode-se igualar o quociente do número de núcleos N de cada espécie, pela abundância das mesmas, assim,

$$\frac{N(^{238}\text{U})}{N(^{235}\text{U})} = \frac{\exp[-\lambda(^{238}\text{U}) \cdot t]}{\exp[-\lambda(^{235}\text{U}) \cdot t]} = \frac{99,274}{0,720} = 137,9$$

Logo,

$$\exp[\lambda(^{235}\text{U}) - \lambda(^{238}\text{U})] \cdot t = 137,9$$

o que é igual a

$$[\lambda(^{235}\text{U}) - \lambda(^{238}\text{U})] \cdot t = \ln 137,9$$

Em termos de tempo (idade da Terra)

$$t = \frac{\ln 137,9}{[\lambda(^{235}\text{U}) - \lambda(^{238}\text{U})]}$$

Como

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,6931}{\lambda}$$

Tem-se, finalmente, a idade da Terra

$$t = \frac{\ln 137,9}{\frac{0,6931}{t_{1/2}(^{235}\text{U})} - \frac{0,6931}{t_{1/2}(^{238}\text{U})}} = \frac{\ln 137,9}{\frac{0,6931}{7,13 \cdot 10^8} - \frac{0,6931}{4,5 \cdot 10^9}} = 6,023 \cdot 10^9 \text{ anos}$$

## BIBLIOGRAFIA

Bitelli, T., 1982, **Dosimetria e Higiene das Radiações**, São Paulo: Grêmio Politécnico

Cardoso, E., M., **Radioatividade**, Apostila Educativa da CNEN (<http://www.cnen.gov.br>)

Dantas, V., 2000, **50 mil anos de descobrimento**, Brasil Nuclear, nr. 20

El Wakil, M. M., 1971, **Nuclear Heat Transport**, New York: Int. Textbook Co.

<http://www.epa.gov/radiation/radionuclides/cobalt.htm>

<http://www.epa.gov/radiation/radionuclides/cesium.htm>

Martins, J., B., **História da Energia Nuclear**, Apostila Educativa da CNEN (<http://www.cnen.gov.br>)

Saravia, D. C., Hamaguchi, H. e Ono, L. K., **Reprodução do experimento de raio-X: Difração, Emissão, Fluorescência e Absorção**, <http://www.geocities.com/cenacap/RaioX.html>.