Material Especial - Radioatividade e seus Princípios

Autores: Thiago Brasileiro, Gustavo Valente

1 A descoberta da Radioatividade

Raadioatividade é o fenômeno responsável pelo decaimento nuclear, ou seja, emissão de radiações a partir da ejeção de fragmentos do Núcleo. Em 1896, Henri Bevquerel, renomado cientista de sua época, guadou em uma gaveta oxído de urânio envolto por placas fotográficas. Após certo tempo, Becquerel percebeu que as placas haviam se escurecido e o renomado cientista admitiu que o Urânio devia emitir algum tipo de radiçaõ. Tempos depois, a grandiosa cientista Marie Sklodowska Currie, junto com seu marido, Pierre Currie, mostrou que a radiação era emitida pelo urânio independentemente do composto que estava ligado a ele. O casal currie tamBém descobriu outros materiais radioativos como Tório, Rádio e Polônio.

Foto de Becquerel, Pierre e Marie.

2 O decaimento nuclear

Sabemos que o átomo é formado por uma eletrosfera e um minúsculo núcleo que concentra em seu pequeno volume todos os prótons e neutrons pertencentes aos elementos. A força Forte, é a força que une os prótons e neutrons das partículas mas, dependendo da quantidade dos mesmos, a repulsão pode superar tal força, produzinndo a ejeção de partículas nucleares.

3 Partículas fundamentais e reações nucleares

A ejeção de partícluas devido ao decaimento pode causar a emição de diversas naturezas. A tabela abaixo exemplifica alguumas delas.

Tipo	Notação	Número de Massa	Carga
alpha	${}^{2}_{4}\alpha$	4	+2
Beta	${}^{-1}_{0}\beta$	0	-1
Gamma	${}^{0}_{0}\gamma$	0	0
Pósitron	${}^{+1}_{0}\beta$	0	+1
Próton	${}^{+1}_{1}p$	1	+1
Neutron	${}^{0}_{1}n$	1	0

Tabela 1: Partículas emitidas

a patícula alpha advém da emissão de 2 prótons e 2 neutrons e possui baixa penetrânica A emissão beta advém da decomposição de um néutron e posusi penetrância média A partícula gamma é radição em forma de energia, liberada por núcleos atômicos instáveis e é altamente penetrante.

3.1 As leis da Radioatividade

As leis da radioatividade são duas leis simples e que advém de outras leis fundamentais: **a conservação da massa e da carga.** Na emissão de uma partícula alpha, por exemplo, há perda de 4 unidades de massa e 2 unidades de carga. Se o elemento que emitiu tal partícula tinha número atômico 88 e número de massa 226, esperasse que o novo elemento formado por tal emissão tenha número atômico 86 e número de massa 222. Veja o exemplo abaixo:

$$^{84}_{211}\text{Po} \rightarrow ^{82}_{207}\text{Pb} + ^{2}_{4}\alpha$$

Assim, utilizando os princípios citados podemos descobrir o elemento produzido a partir da reação liberada e vice-versa. Veja o outro exemplo:

$$^{3}_{1}\text{H} \rightarrow ^{z}_{x}\text{A} + ^{0}_{-1}\beta$$

Nosso objetivo é descobrir o número atômico do elemento A (x), o seu número de massa (y) e por fim, determinar quem é o elemento A. Olhando para a equação, percebemos que ouve emissão de partícula beta, qu epossui número de massa ugual a zero e carga -1. Utilizando so princípios de conservação, podemos que escrever que a massa inical deve ser igual a a massa final e a carga inicial deve ser igual a carga final. Veja:

$$3 = z + 0$$

$$1 = x - 1$$

Facilmente econtramos que $x = 2$ e $y = 3$, caracterizando um dos isótopos do elemento hélio ($^{4}_{2}$He.

3.2 A cinética da radioativide

Em quanto tempo ocorre a desintegração total de um átomo de Urânio? Após 10 minutos, quanto terei de polônio? Essas são perguntas que a cinètica da radioatividade irá nos responder. Fazendo uma breve revisão de cinética química:

3.2.1 Cinética química

A cinética química é o modelo que estudo a velocidade da reção e os fatores que a influenciam. Dados experimentais mostraram que a velocidade de uma reção é proporcional à quantidade de reagentes elevado à um determinado coeficiente obtido experimentalmente. Podemos escrever tal afirmação como:

$$v = k.[A]^x.[B]^y$$

Onde k representa a constante de velocidade, que (no geral) apenas depende da temperatura, os colchetes representam a concentração, x e y são os coeficientes determinados experimentalmente e A e B são os reagengentes. Levando em conta uma reação onde há apenas o reagente A e que seu coeficiente (x) vale 1, temos o que chamamos de cinética de primeira ordem:

$$v = k.[A]$$

Sabemos que podemos escrever a velocidade de uma reação como a variação de concntração do elemento A no tempo. De modo mais técnico, escreveremos que a velocidade é menos a derivada temporal da concentração do reagente. O menos se deve pois essa variação é negativa (O reagente está sendo consumido). Assim:

$$v = k.[A] = -\frac{d[A]}{dt}$$

Iremos fazer uma integração para acharmos a concentração do reagente em função do tempo:

$$-k.\int_0^t dt = \int_{A_0}^{A} \frac{d[A]}{[A]}$$

Lembrando que a integral de $\frac{dx}{x}$ é o logaritmo natural de x, temos:

$$\ln \frac{[A]}{[A_0]} = -kt$$

Isolando a concentração do reagente, encontraremos que:

$$\boxed{[A] = [A_0].e^{-kt}}$$

Essa equação nos dá a concentração de reagente em função do tempo. Se quisermos achar o tempo que leva para a concentração se reduzir pela metade, tempo que é chamado de tempo de meia vida, como faremos? Veja:

$$[A] = \frac{[A_0]}{2} = [A_0].e^{-kt}$$

$$\boxed{t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k}}$$

3.2.2 Cinética da Radioatividade

Utilizaremos o raciocínio análogo aqui. Na radioatividade as reações seguem uma cinética de 1° ordem:

$$A = kN$$

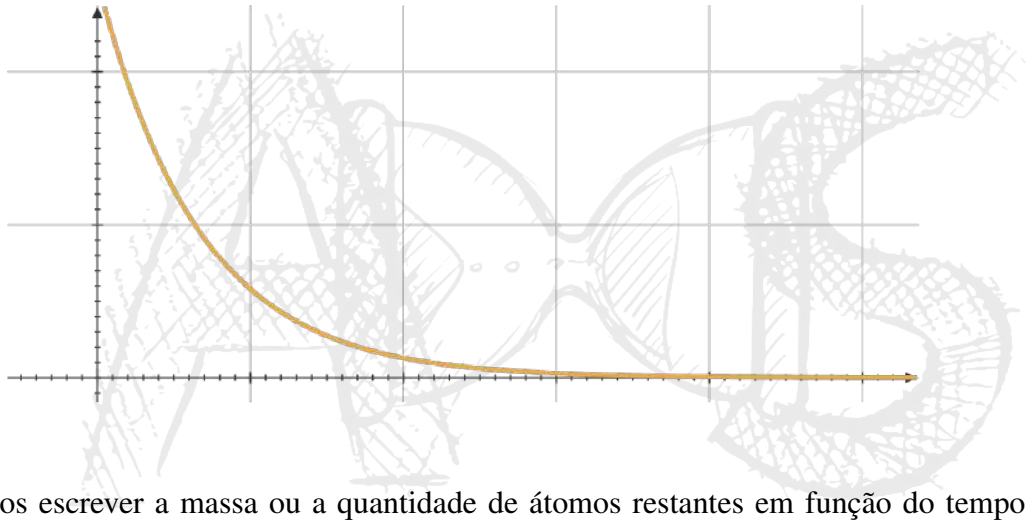
onde A é a atividade, ou seja, numero de desintegrações nucleares que ocorre em um certo intervalo de tempo dividido por pela extensão do intervalo, k é constante de radioatividade e N é o número de núcleos restantes após um certo intervalo de tempo. Fazendo o processo análogo, encontraremos que:

$$\boxed{N = N_0.e^{-kt}}$$

onde N_0 é a quantidade inicial de nuclídeos. Podemos escrever também em função da massa:

$$\boxed{m = m_0.e^{-kt}}$$

Veja em um gráfico:



Podemos escrever a massa ou a quantidade de átomos restantes em função do tempo de meia vida. Veja:

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

Podemos escrever t como $xt_{\frac{1}{2}}$ onde x é um número real qualquer. Sabemos que $t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k}$ Substituindo na equação acima, encontrareos que:

$$N = N_0.e^{-k.x.\frac{\ln 2}{k}}$$

Fazendo as devidas simplificações, chegarremos que:

$$N = N_0.e^{-x.\ln 2}$$

Colocando o -x como expoente do 2 no $\ln 2$, temos:

$$N = N_0.e^{-\ln \frac{1}{2x}}$$

Lembrando a propiedade dos logaritimos que diz que: $e^{\ln a} = a$ Temos que:

$$\boxed{N = \frac{N_0}{2^x}}$$

3.2.3 Unidades de Medida

A **Atividade** é dado no S.I em becquerel(Bq) que corresponde a uma desintegração nuclear por segundo. Outra unidade muita usada é a curie(Ci) ela é $3,7.10^{10}$ desintegrações nucleares por segundo A **Exposião** mede a carga(proveniente da ionização do ar atravessado pela radiação) por unidade de

massa(de ar atravessado). No passado, a unidade utilizada era o roentgen(R). Porém, hoje, a unidade é definida como $\frac{C}{Kg}$ pelo SI. A conversão de roentgen para a unidade estabelecida pelo SI é dada por $1R = 2,58.10^4$ A **Dose absorvida** mede a energia absorvida(pelo tecido) por unidade de massa.

Antigamente, a unidade adotada era o rad (sigla, em inglês, para radiation absorbed dose). Pelo SI, em trabalhos científicos, usa-se o gray(Gy), que é equivalente a 1 $\frac{J}{Kg}$. A conversão de rad para gray é dada por: $1Gy = 100$ rad. .

Com tais conhecimentos do tempo de meia vida e da cinética radioativa, os cientisitas foram capaz de realizar datações de materiais antigos pela presença de elementos radioativos como o carbono-14.

4 Fissão e Fusão Nuclear

A fissão nuclear é a quebra de átomos maiores em átomos menores com grande liberação de energia. Existe a fissão natural e a artificial. A artificial é feita em laboratórios pelo bombardeamento de núcleos pesados e neutrons. Já a natural advém de oscilações naturais dentro do núcleo atômico que provoca a quebra do núcleo em duas partes semelhantes. Veja o exemplo:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{141}_{56}\mathrm{Ba} + ^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Apesar de ser uma fonte que gera boa quantidade de energia e não gerar poluidores como o gás carbônico, geram resíduos radioativos muito perigosos que podem causar mortes e destruição ambiental. Um acidante conhecido com a fissão nuclear foi o de Chernobyl, que até hoje permanece imprópia para habitação devido à alta radiação ainda lá presente.

A fusão nuclear é formação de átomos mais pesados com a colisão de átomos mais leves com a consequente liberação de energia. Ocorrem apenas artificalmente e de maneira extremamente cara pois para acontecer a colisão entre os átomos pequenos é necessário uma grande energia cinética que é cinseguido em aceleradores de partículas. Apesar do alto custo, pode gerar energia a partir de combustíveis abundantes e livre de resíduos tóxicos com alto tempo de meia vida. Um xemplo disso é a reação de fusão de núcleos de hidrogênio para formar átomos de hélio.

5 Conversão Massa energia

A conversão massa-energia é um dos conceitos mais fundamentais e revolucionários da física, com base na famosa equação de Albert Einstein $E = mc^2$. Essa relação estabelece que a energia contida em um objeto está diretamente relacionada à sua massa pela constante da velocidade da luz ao quadrado(c^2). Essa descoberta trouxe implicações profundas, como a bomba nuclear.

A bomba nuclear é o exemplo prático mais conhecido da conversão massa-energia. Essa conversão ocorrre por meio de uma fissão nuclear artificial, realizada por meio do bombardeamento de

núcleos pesados com nêutrons, causando uma reação em cadeia auto-sustentável, gerando quantidades enormes de energia.

6 Problemas

6.1 Quem sou eu? *

Valente e Hemétrio estão brincando do jogo quem sou eu, só que de um jeito mais divertido. Na testa de cada um há um papel com uma equação química nuclear e seu objetivo é determinar qual o elemento na cabeça do adversário mais rapidamente. As equações eram:

$$^{44}_{22}\text{Ti} +^{0}_{-1}\beta \rightarrow^{0}_{+1}\beta +^{b}_{a}\text{X}$$

$$^{d}_{c}\text{Y} +^{0}_{0}\gamma \rightarrow^{0}_{-1}\beta +^{20}_{10}\text{Ne}$$

Determine a,b,c e d e, com a ajuda de uma tabela periódica, especifique quem são os elementos X e Y

6.2 O gato de Marrie **

Marie, uma cientisita que explorava os elementos radioativos, tinha um gatinho de estimção chamado Beq. Em um ato inconsiciente, Beq engole 100 gramas de Frâncio, cujo tempo de meia vida é de 22 minutos, e começa a passar mal. Ao perceber isso, Marie leva Beq ao hospital e chega para fazer um exame após 13 minutos da ingestão. Após 20 minutos da ingestão, o médico diz que Beq irá morrer em 38 minutos, contados a partir da hora que o médico setenciou a morte . Assim, determine, com auxílio de uma calculadora:

a) A massa de frâncio quando Beq e Marie chegam no médico e no momento do diagnóstico.

b) Sabendo que o Frâncio emite partículas alpha e que o novo elemento formado é estável, determine o número de massa e o número atômico do elemento formado.

c) A massa de Frâncio 10 minutos antes da morte do gato.

Dados: $^{223}_{87}\text{Fr}$

6.3 Não faça Chernobyl ***

O urânio ocorre naturalmente como UO2, sendo que apenas 0,720 % dos átomos de urânio são 235U. A fissão induzida por nêutrons ocorre facilmente no 235U, com a emissão de 2 a 3 nêutrons de fissão com alta energia cinética. Essa probabilidade de fissão aumenta se os nêutrons que induzem a fissão possuírem baixa energia cinética. Portanto, reduzindo a energia cinética dos nêutrons de fissão, é possível induzir uma cadeia de fissões em outros núcleos de 235U. Isso forma a base do reator nuclear gerador de energia (RN).

Um RN típico consiste em um tanque cilíndrico com altura H e raio R, preenchido com um material chamado moderador. Tubos cilíndricos, chamados canais de combustível, contendo agrupamentos de pinos de combustível cilíndricos de UO2 natural em forma sólida com altura H, são dispostos axialmente em uma matriz quadrada. Os nêutrons de fissão, emitidos a partir de um canal de combustível, colidem com o moderador, perdendo energia, e alcançam os canais de combustível

vizinhos com energia suficientemente baixa para causar fissão (Figuras I-III). O calor gerado pela fissão no pino é transmitido a um fluido refrigerante que flui ao longo de seu comprimento. Neste problema, estudaremos algumas das questões relacionadas à física do (A) Pino de Combustível, (B) Moderador e (C) RN de geometria cilíndrica.

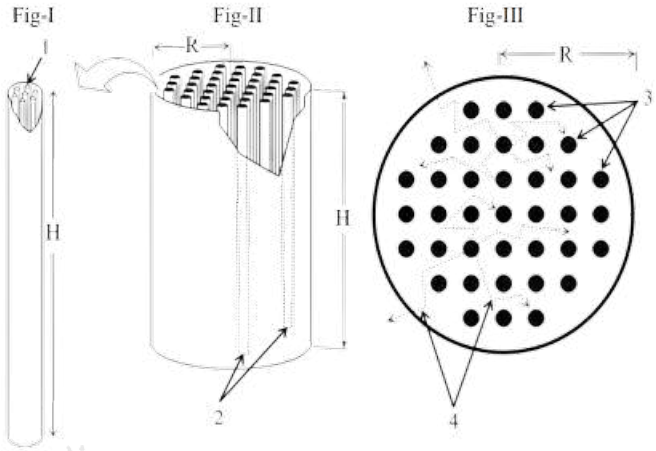


Figura 1: Este é um modelo esquemático de um Reator Nuclear (RN), Figura I: Visão ampliada de um canal de combustível (1 - Pinos de Combustível) Figura II: Visão geral do RN (2 - Canais de Combustível), Figura III: Visão superior do RN (3 - Disposição quadrada dos Canais de Combustível e 4 - Trajetórias Típicas dos Nêutrons)

Dados para o UO2: 1. Peso molecular Mw = 0.270 kg mol^{-1} 2. Densidade ρ = 1.060×10^{4} kg m^{-3} 3. Ponto de fusão Tm = 3.138×10^{3} K 4. Condutividade térmica = 3.280 W m^{-1} K^{-1}

a) Considere a seguinte reação para o Urânio ^{235}U depois dele ter absorvido um nêutron de energia cinética desprezível:

$$^{235}\mathrm{U} + ^{1}\mathrm{n} \rightarrow ^{94}\mathrm{Zr} + ^{140}\mathrm{Ce} + 2^{1}\mathrm{n} + \Delta E$$

Estime a energia total liberada da fissão (ΔE) em MeV. As massas nucleares são: m(^{235}U)=235.044u; m(^{94}Zr) = 93.9063u; m(^{140}Ce) = 139.905; m(^{1}n)=1.00867 e 1u = 931.502MeV c^{-2}.

b) Estime o número de átomos de átomos de ^{235}U por unidade de volume no UO2 natural.

c) Para operar o reator, em qualquer fluxo constante de nêutrons ψ(estado estacionário), a saída de nêutrons deve ser compensada por um excesso de produção de nêutrons no reator. Para um reator de geometria cilíndrica, a taxa de fuga é igual a $k_1[(\frac{2.405}{R})^2 + (\frac{\pi}{H})^2]\psi$, e a taxa de excesso que o núcleo precisa produzir é $k_2\psi$. As constantes k_1 e k_2 dependem de propriedades do material do reator.

Considere agora, um reator com $k_1 = 1.021 \times 10^{-}2m$ e $k_2 = 8.787 \times 10^{-}3m^{-1}$, note que para um volume fixo, a taxa de fuga deve ser minimizada para uma utilização eficiente de combustível. 0btenha as dimensões(R e H) do RN no estado estacionário.