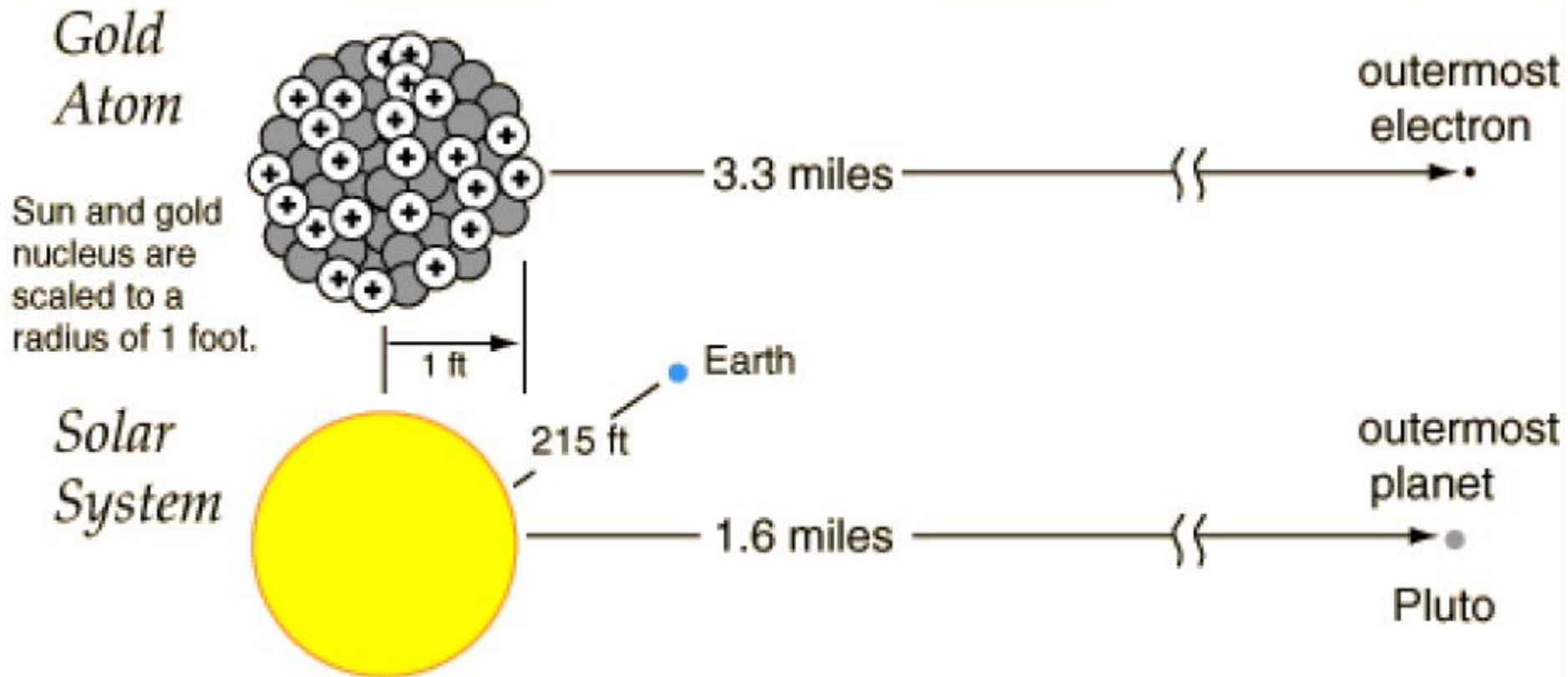


Física Nuclear



Física Nuclear

COMPARANDO VAZIOS



Física Nuclear

A diferença de massa é explicada como sendo a energia necessária para se manter tantos prótons juntos na pequena região nuclear. Como é sabido os prótons tem carga positiva e portanto se repelem mutuamente. Em termos matemático, a energia de ligação é dada por:

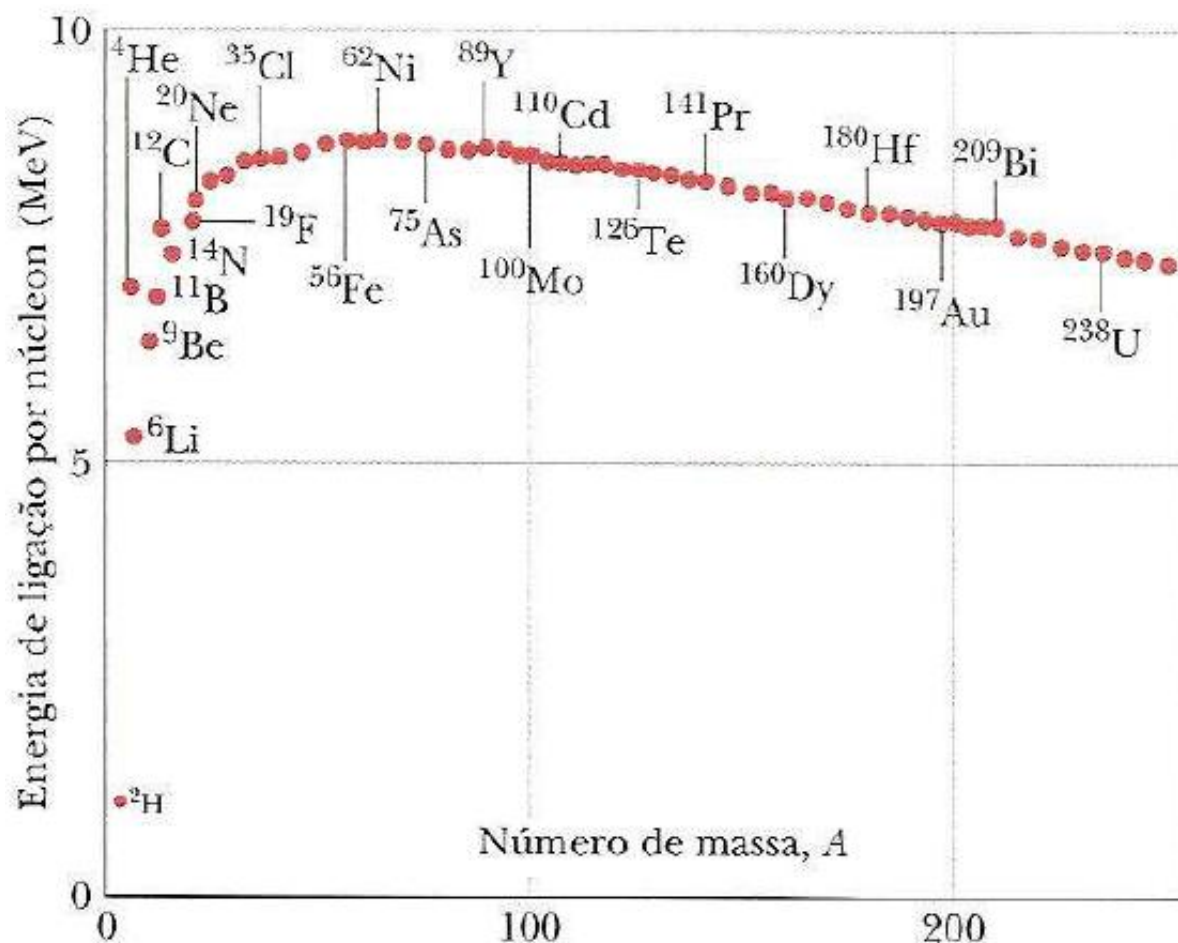
$$E_{\text{ligação}} = \Delta E = (\sum_i m_i - M)c^2$$

Onde m_i é a massa de todos os constituintes do átomo individualmente e M é a massa atômica medida experimentalmente. A energia de ligação por núcleon é dada por:

$$E_{\text{ligação}} / \text{núcleon} = \Delta E_{\text{ln}} = \frac{\Delta E}{A} = \frac{(\sum_i m_i - M)c^2}{A}$$

Física Nuclear

Podemos pensar na energia de ligação por núcleon como a energia média necessária pra arrancar um núcleon do núcleo e desta forma concluir: ***“quanto maior a energia de ligação por núcleon maior a estabilidade de núcleo”***.



Física Nuclear

Do gráfico de energia de ligação por núcleon apresentado se conclui que:

- ✓ O nuclídeo com maior ΔE_{ln} é o níquel 62 (^{62}Ni) com o valor de 8,974 MeV/núcleon.
- ✓ O valor de ΔE_{ln} do Hélio é bem maior que o dos seus vizinhos, o que significa que ele é particularmente estável.
- ✓ Os núcleos pesados acima ^{56}Fe exibem uma tendência monotônica de queda da energia de ligação por núcleon (são menos estáveis).
- ✓ Os núcleos que aparecem na extremidade direita se **fissionam**, se transformando em dois nuclídeos com um número de massa A intermediário,
- ✓ Os núcleos na extremidade esquerda perdem massa ao se combinarem para formar um núcleo com número de massa maior. Esse processo, conhecido como fusão.

Física Nuclear

Exercícios:

- 1- Qual é a força de repulsão eletrostática exercida por prótons separada por uma distância de 2 raios nucleares?
- 2- Quanto vale a energia potencial eletrostática nas condições do problema anterior?
- 3- Como se compara a energia de ligação por núcleon?

Física Nuclear

Níveis de Energia dos Nuclídeos:

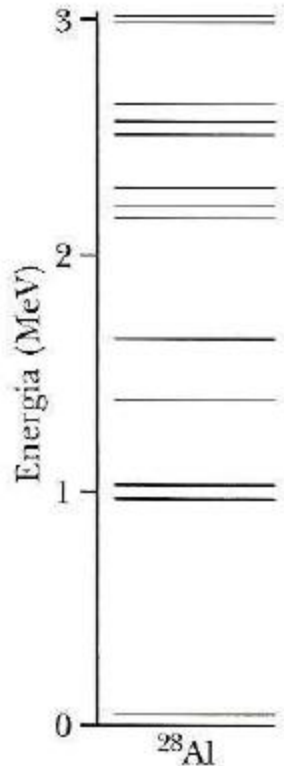
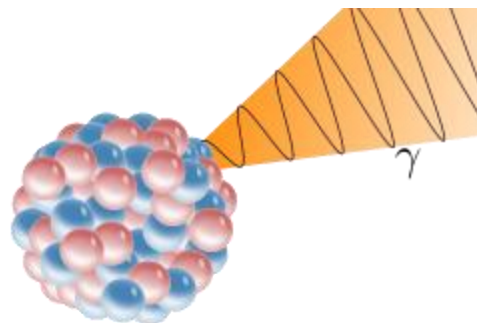


FIG. 42-7 Níveis de energia do nuclídeo ^{28}Al , determinados a partir de reações nucleares conhecidas.

- ✓ A energia é quantizada.
- ✓ Note que a escala de energia é MeV
- ✓ Quando o átomo sofre uma transição, o fóton envolvido está na região dos raios gama.



Radiação Gama é eletromagnética com comprimento de onda entre 10^{-10} m e 10^{-14} m e energia entre 10 KeV e 10 MeV.

Física Nuclear

Spin e Magnetismo dos núcleos:

- ✓ Muitos nuclídeos possuem:
 - a) Momento angular e
 - b) Momento angular intrínseco ou spin nuclear.
- ✓ Os momentos nucleares são da mesma ordem dos momentos angulares atômicos (dos elétrons).
- ✓ Os momentos magnéticos nucleares são muito menores que os momentos magnéticos eletrônicos.

Física Nuclear

Decaimento Radioativo:

- ✓ Os núclídeos em sua maioria são **radiativos**, ou seja, emitem espontaneamente uma ou mais partículas transformando-se em outros núclídeos.
- ✓ O processo de decaimento é estatístico. A probabilidade de decaimento é a mesma para todos os núcleos.
- ✓ A taxa de decaimento é proporcional ao número de núcleos radioativos, ou seja,

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

onde λ é a constante de desintegração (ou constante de decaimento)

Física Nuclear

Decaimento Radioativo:

Integrando ambos os membros:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt \Rightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda(t - t_0)$$

$$\therefore \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad ; (t_0 = 0)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Derivando esta ultima obteremos a **taxa de decaimento R** na forma:

$$R \equiv -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$R = \lambda N$$

Física Nuclear

- ✓ A soma de todas as taxas de decaimento R de uma dada amostra é chamada de atividade da amostra.
- ✓ No SI a unidade da atividade é chamada de becquerel (Bq) em homenagem a Henri Becquerel , o descobridor da radioatividade.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ decaimento por segundo}$$

- ✓ Contudo a unidade mais usada é o curie (Ci) em homenagem a **Marie Skłodowska Curie**.

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

Física Nuclear

Tempos de vida e Decaimento Radioativo:

✓ Existem duas medidas principais do tempo de sobrevivência de um tipo particular de radionuclídeo: a) Tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) e b) Tempo de vida média τ .

✓ $T_{1/2}$ é o tempo necessário para que N e R caiam a metade do valor inicial.

✓ τ é o tempo necessário para que N e R caiam a $1/e$ do valor inicial.

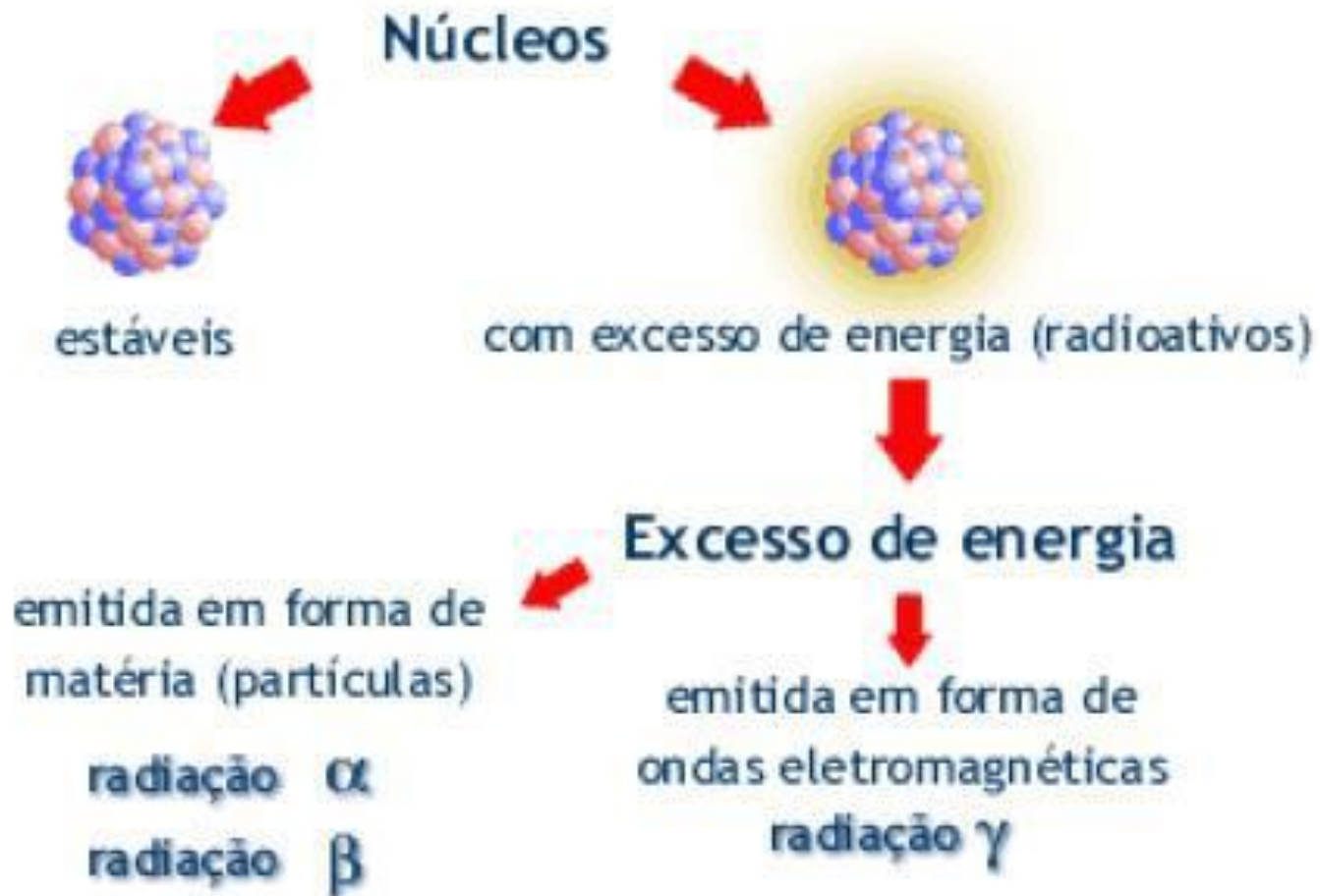
$$R_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \equiv \frac{1}{2} R_0 \therefore T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

✓ Por analogia

$$\tau = \frac{\ln e}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow T_{1/2} = \tau \ln 2$$

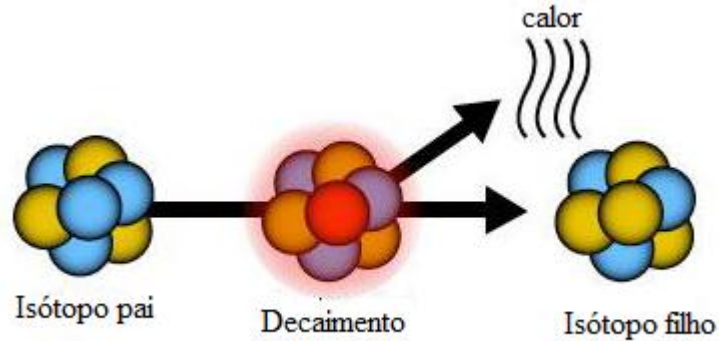
Física Nuclear

Decaimento radioativo



Física Nuclear

Decaimento radioativo



Tipos de Decaimento radioativo:

- ✓ Decaimento alfa
- ✓ Decaimento beta { *Decaimento Beta +*
Decaimento Beta -

Exercício: Lembrando que $E = m c^2$, mostre que $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$

Física Nuclear

Decaimento radioativo – Radioatividade

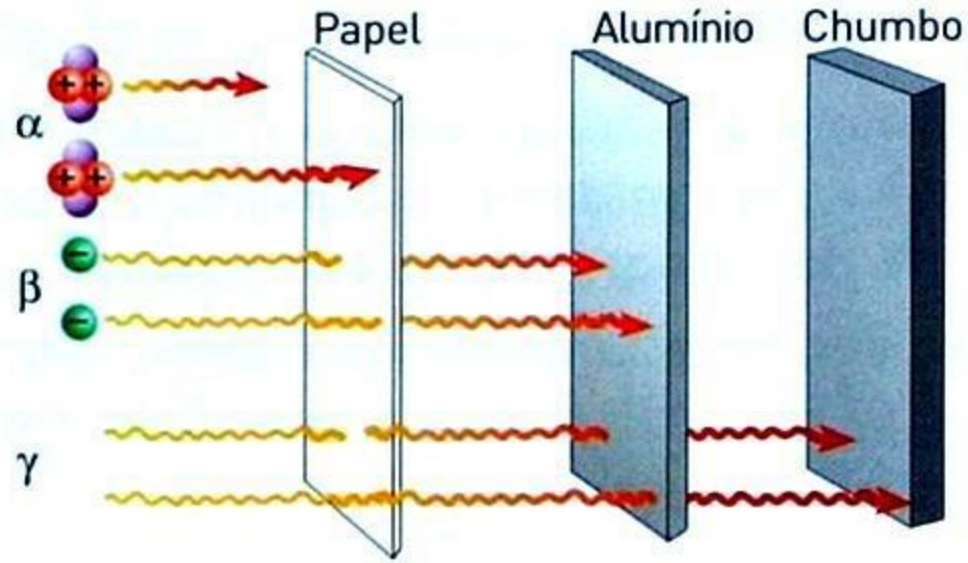
- Decaimento radioativo gera energia.
- Gera energia cinética para a partícula e radiação.
- A energia vem da conversão de massa em energia.
- Como $E=mc^2$, a alta velocidade da luz faz com que uma pequena massa gere uma quantidade grande de energia.
- A radioatividade acontece porque as coisas da natureza tendem a estar no estado de menor energia

Física Nuclear

43

Produtos de decaimento radioativo: penetrabilidade!

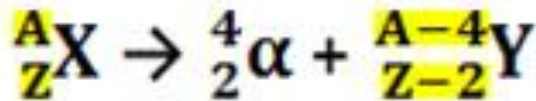
- Partícula alfa (partícula ${}^4\text{He}$)
- Partículas Beta: β^+ (pósitron)
- Partículas Beta β^- (elétron)
- Raios-gama γ
- Nêutrons n
- Neutrinos ν (partícula sub atômica neutra de massa muito pequena)



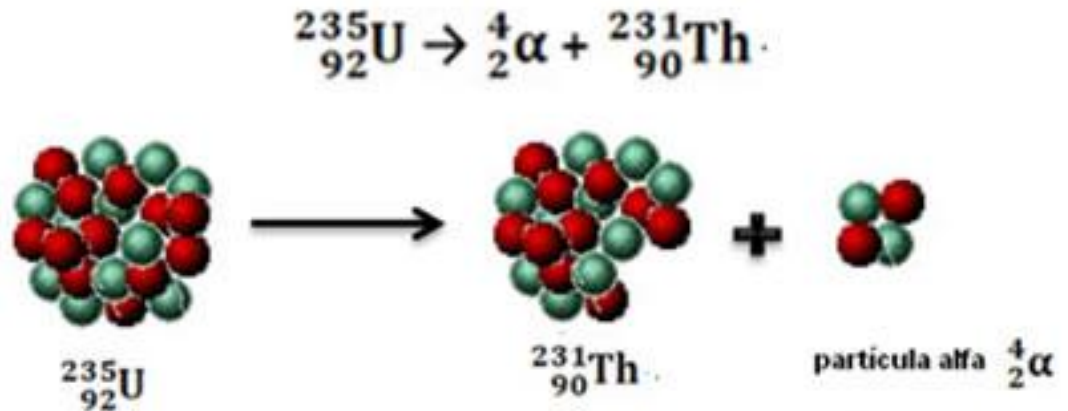
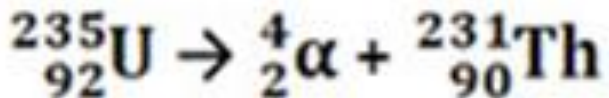
Física Nuclear

Decaimento Alfa:

Quando um núcleo sofre um decaimento alfa, ele se transforma em um núcleo diminuído pelo núcleo do átomo de hélio que é ejetado.



Exemplo:

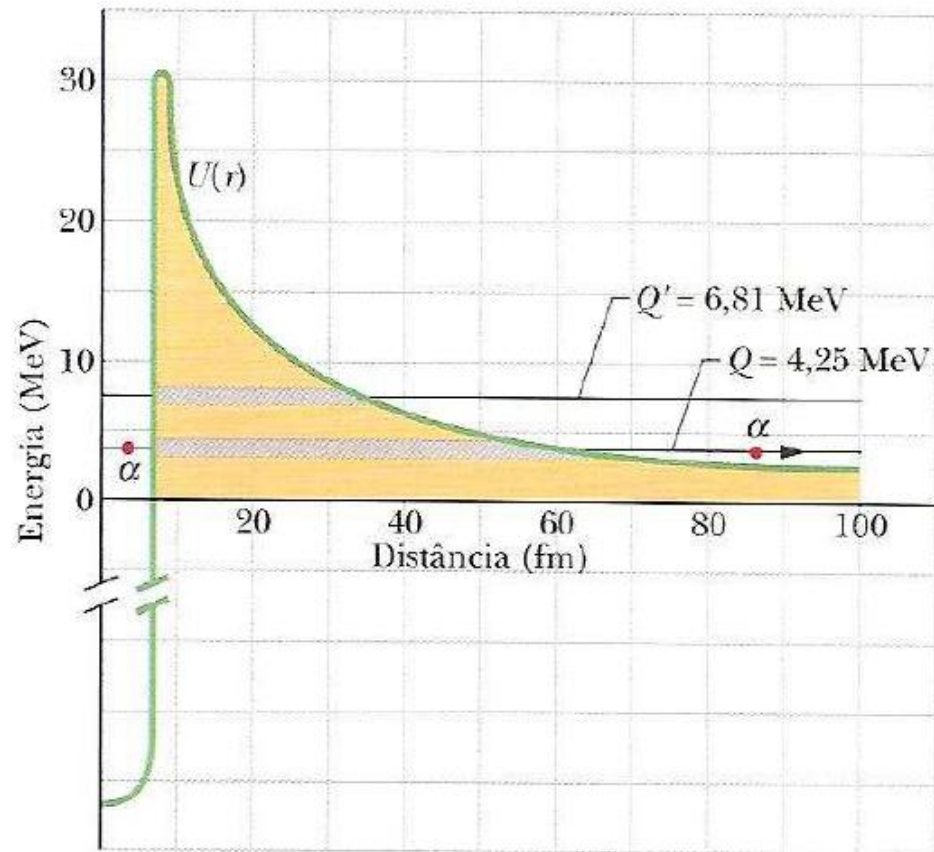


- ✓ Em um processo desse tipo, a diferença entre a energia de repouso inicial e a energia de repouso final é chamado de Q da reação ou energia de deintegração Q do Núcleo. No presente caso, aparece como energia cinética dos produtos da reação.

Física Nuclear

Determine o Q , em MeV, de um decaimento alfa: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + \alpha$. Considere as seguintes massas atômicas: ^{238}U 238,05079 u ; ^{234}Th 234,04363 u ; ^4He 4,00260 u.

Um modelo para explicar este tipo de processo é que uma partícula alfa existe está presa em um poço de potencial causado pelo núcleo residual do urânio. A figura ao lado mostra a curva de potencial.



Física Nuclear

Decaimento alfa – detalhamento do gráfico:

- ✓ A energia potencial para regiões até 8 fm é associada a força nuclear atrativa.
- ✓ A energia potencial para regiões maiores que 10 fm é associada a força elétrica repulsiva
- ✓ A reta horizontal Q 4,25 MeV mostra a energia de desintegração do processo de decaimento alfa para o urânio 238.
- ✓ A faixa cinzenta sob a área do gráfico (túnel) é a região classicamente proibida.
- ✓ A reta horizontal Q 6,81 MeV mostra a energia de desintegração do processo de decaimento alfa para o urânio 228.

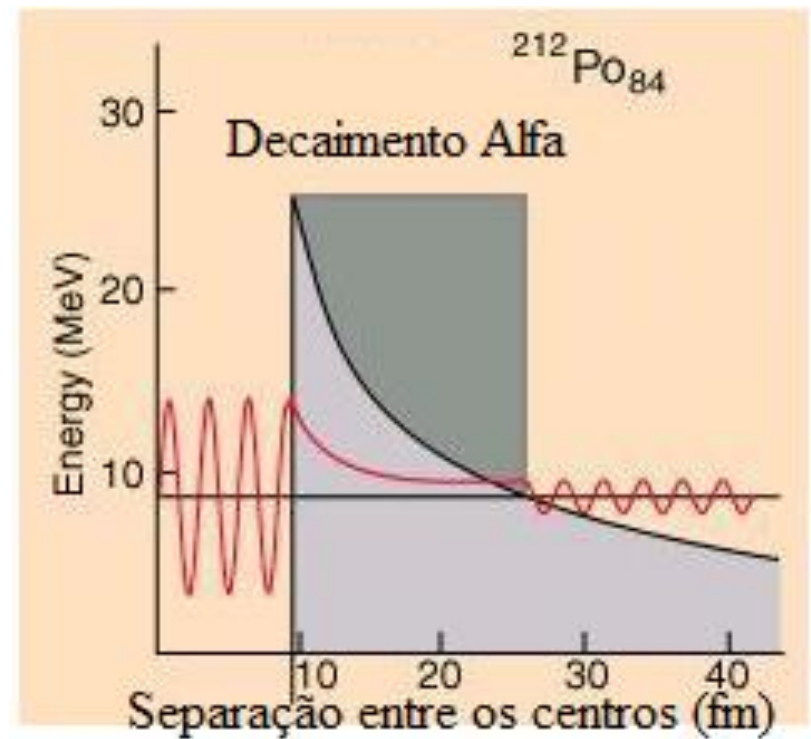
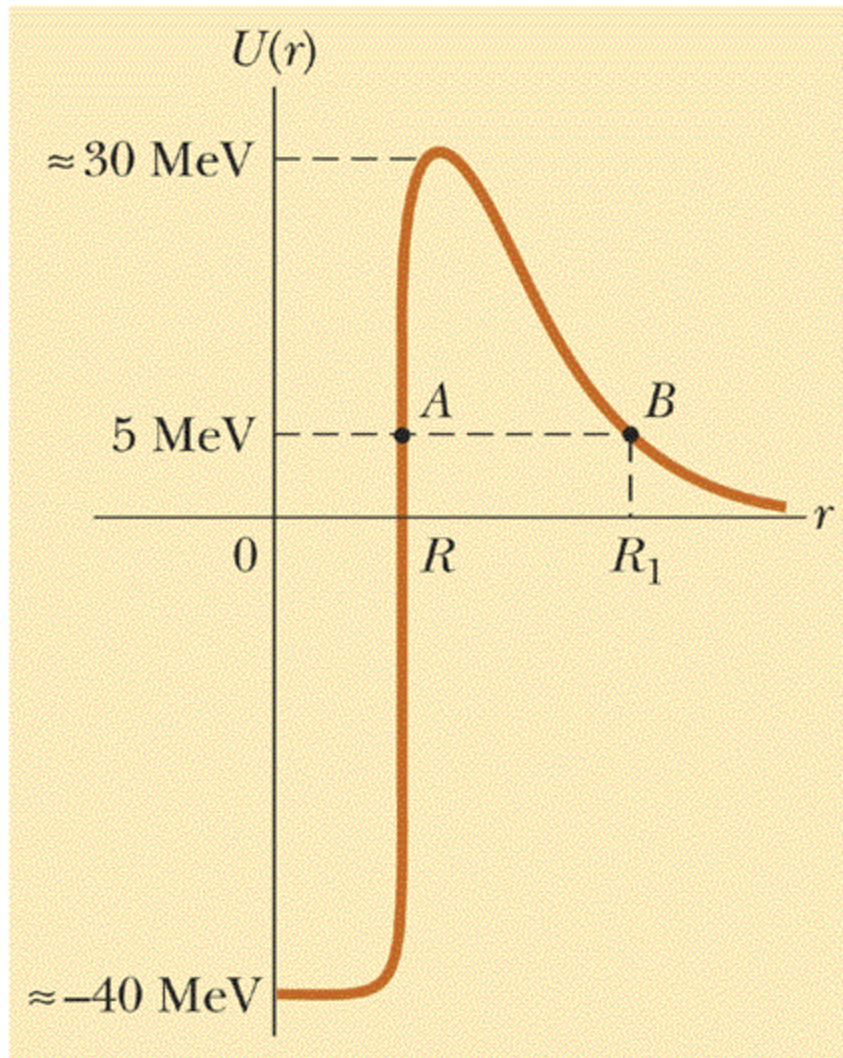
Decaimento alfa – tunelamento

Comparação entre os dois emissores de partículas alfa

Radionuclídeo	Largura da barreira (fm)	Q (MeV)	Meia vida	$T_{1/2} / T_{1/2} (^{238}\text{U})$
^{238}U	~52	4,25	$4,5 \times 10^9$ anos	1
^{228}U	~26	6,61	9,1 min	$1/3 \times 10^{14}$

Física Nuclear

Decaimento alfa – penetrabilidade – efeito túnel



Física Nuclear

Decaimento beta

Trata-se de um processo espontâneo onde o nuclídeo pai se transforma em um núcleo filho e um elétron ou pósitron (partícula com mesma massa do elétron e carga $+e$).

No caso da decaimento beta menos, um dos nêutrons emite um elétron e um neutrino se transformando em próton segundo a reação



Exemplo:



No decaimento beta mais, um dos prótons do núcleo emite um pósitron e um neutrino se transformando em um nêutron, seguindo a reação típica:

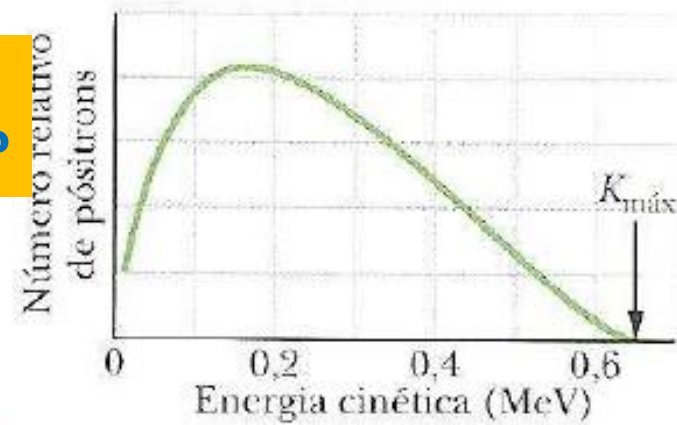


Exemplo:

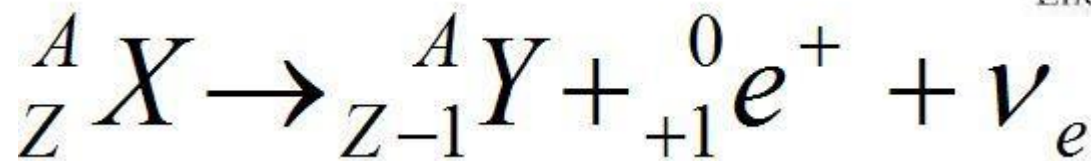


Física Nuclear

Questão: Qual a interpretação de K_{max} no gráfico de distribuição de energia dos pósitrons?



Decaimento beta+ - reação típica



- ❑ Emissão de elétrons e (ou pósitrons e^+).
- ❑ Ocorre quando um próton se transforma em nêutrons ou vice-versa diminuindo a energia do núcleo.
- ❑ Vem acompanhado com a emissão de um neutrino ν .
- ❑ Núcleo-pai e núcleo-filho continuam com o mesmo número de massa.

Física Nuclear

Decaimento beta – neutrinos.

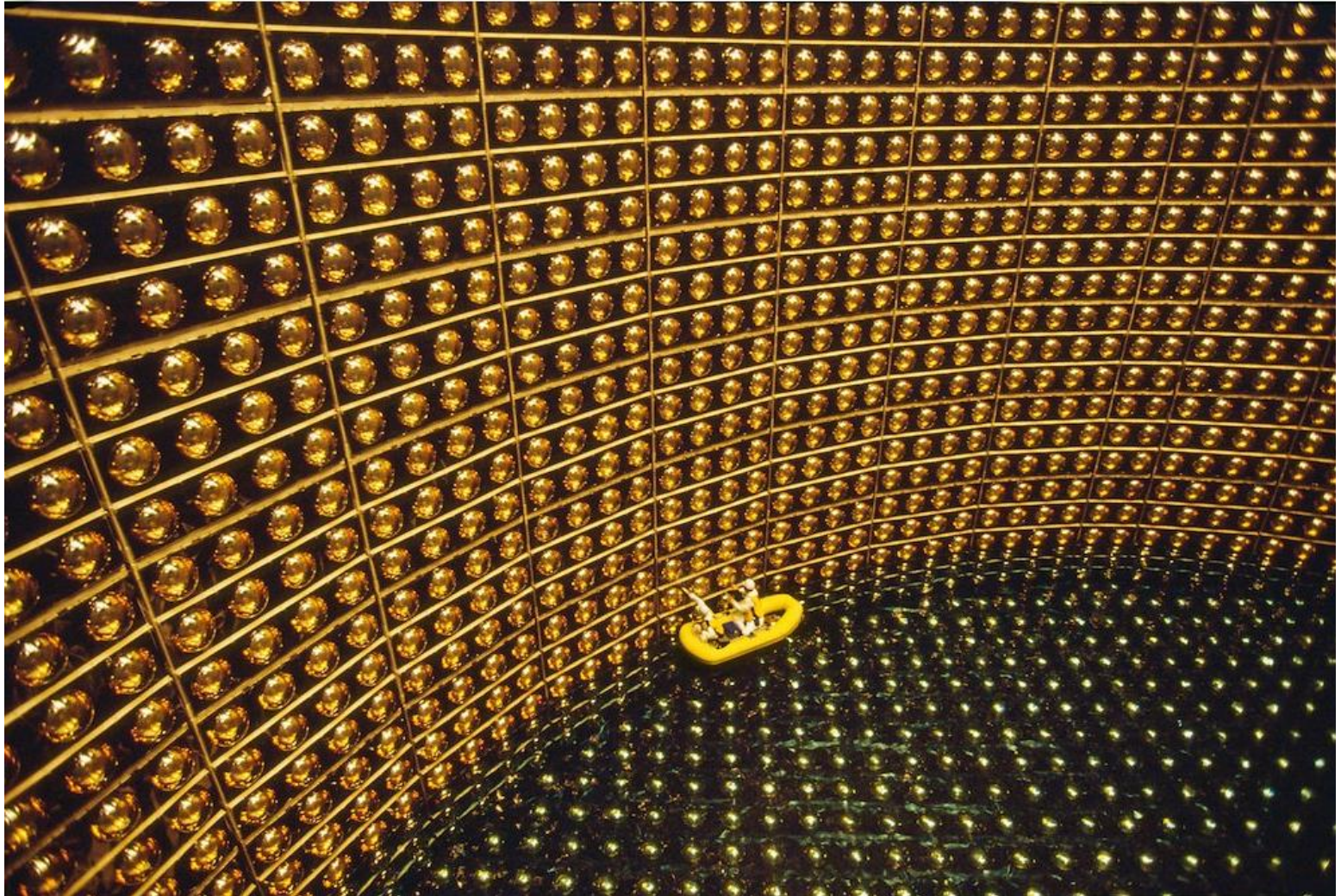
A existência dos neutrinos foi proposta por Wolfgang Pauli em 1930, para evitar que a conservação do momento angular fosse violada. Em 1953 F. Reines e C. L. Cowan observaram pela primeira vez

Detectando neutrinos

- ❑ Em 1998 o detector de neutrino chamado Super kamiokande foi colocado em operação numa montanha no Japão.
- ❑ Piscina de água ultra-pura e detectors de foto-multiplicadoras.
- ❑ Os detectores são posicionados em volta da piscina para detectar a luz produzida pelos neutrinos quando interagem com a água.

Física Nuclear

Detector de Neutrinos - Super-Kamiokande, localizado 1000 metros abaixo do Monte Ikeno in Japan



Física Nuclear

Exercício:

Calcule a energia de desintegração Q para o decaimento Beta do $^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}\text{S} + e^- + \nu$. As massas atômicas dos núclídeos envolvidos na reação são $31,97391 \text{ u}$ (^{32}P) e $31,97207 \text{ u}$ (^{32}S).

Datação Radioativa:

- ✓ É feita considerando a variação de concentração de amostras e baseia-se no tempo de decaimento radioativo.
- ✓ No caso da Terra, da lua e dos meteoritos os cálculos indicam valores de existência muito parecido da ordem de 4 bilhões de anos ($4,5 \times 10^9$ anos)

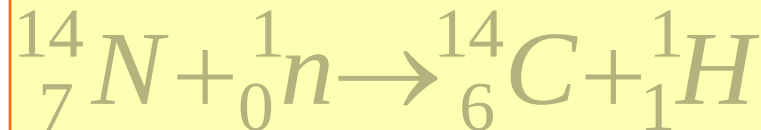
Física Nuclear

Datação Radioativa:

✓ Para se avaliar idades longas, é usado reações com longo tempo de meia vida como a do radionuclídeo ^{40}K que decai no ^{40}Ar com tempo de meia vida de $1,25 \times 10^9$ anos.

✓ A datação com o carbono 14 (^{14}C) tem sido usada para determinar intervalos de tempo mais curtos.

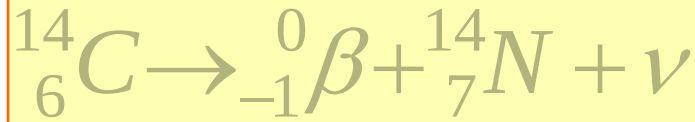
✓ O radionuclídeo ^{14}C ($T_{1/2}$ de 5730 anos) é produzido constantemente na alta atmosfera pelos raios cósmicos através do choque com o nitrogênio do ar, segundo a reação:



Física Nuclear

Datação Radioativa:

- ✓ ^{14}C está presente na atmosfera na proporção de 1 para 10^{13} ^{12}C . Graças a atividades como fotossíntese, respiração e alimentação, esta é a mesma proporção em todos os seres vivos.
- ✓ Quando morrem, a absorção de ^{14}C cessa e esta proporção começa a diminuir pelo processo de decaimento segundo a reação:



- ✓ O radionuclídeo ^{40}K se transforma em ^{40}Ar com tempo de meia vida de $1,25 \times 10^9$ anos. Este e outros decaimento podem ser usados na determinação de idade grandes como a da formação da Terra.

Física Nuclear

Exercício:

Em uma rocha lunar , a razão entre o número de átomos de ^{40}Ar (estáveis) e o número de átomos de ^{40}K (radioativos) é de 10,3. Suponha que todos os átomos de argônio tenham sido gerados pelo decaimento dos átomos de potássio, que tem meia-vida de $1,25 \times 10^9$ anos. Qual a idade da rocha?

Solução:

Seja N_K é o numero de átomos de potássio, N_{Ar} é o número de átomos de argônio. Temos pela lei de decaimento que $N_K = N_0 e^{-\lambda t}$.

Pelo enunciado: $N_{Ar} = N_0 - N_K = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$ e por outro lado $N_{Ar} / N_K = 10,3$, o que implica:

$$10,3 = N_0 (1 - e^{-\lambda T}) / N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow (e^{\lambda T} - 1) = 10,3 \therefore e^{\lambda T} = 11,3 \quad \text{ou} \quad T = \ln(11,3) / \lambda$$

$$T = T_{1/2} \ln(11,3) / \ln 2 = \mathbf{4,37 \times 10^9 \text{ anos.}}$$

Física Nuclear

Exercícios:

1-A tabela a seguir mostra a taxa de decaimento para vários instantes de uma amostra de ^{128}I .

Tempo (min)	R(contagens/s)	Tempo (min)	R(contagens/s)
4	392,2	132	10,9
36	161,4	164	4,56
68	65,5	196	1,86
100	26,8	218	1,00

Determine a constante de desintegração λ e a meia-vida $T_{1/2}$.

2- Uma banana contém 600 mg de potássio. Sabendo-se que a abundância natural do isótopo radioativo ^{40}K , que tem tempo de meia-vida de $1,25 \times 10^9$ anos, é 0,0117%, e supondo que o potássio é o único elemento radioativo presente na fruta, então qual é a atividade da banana?