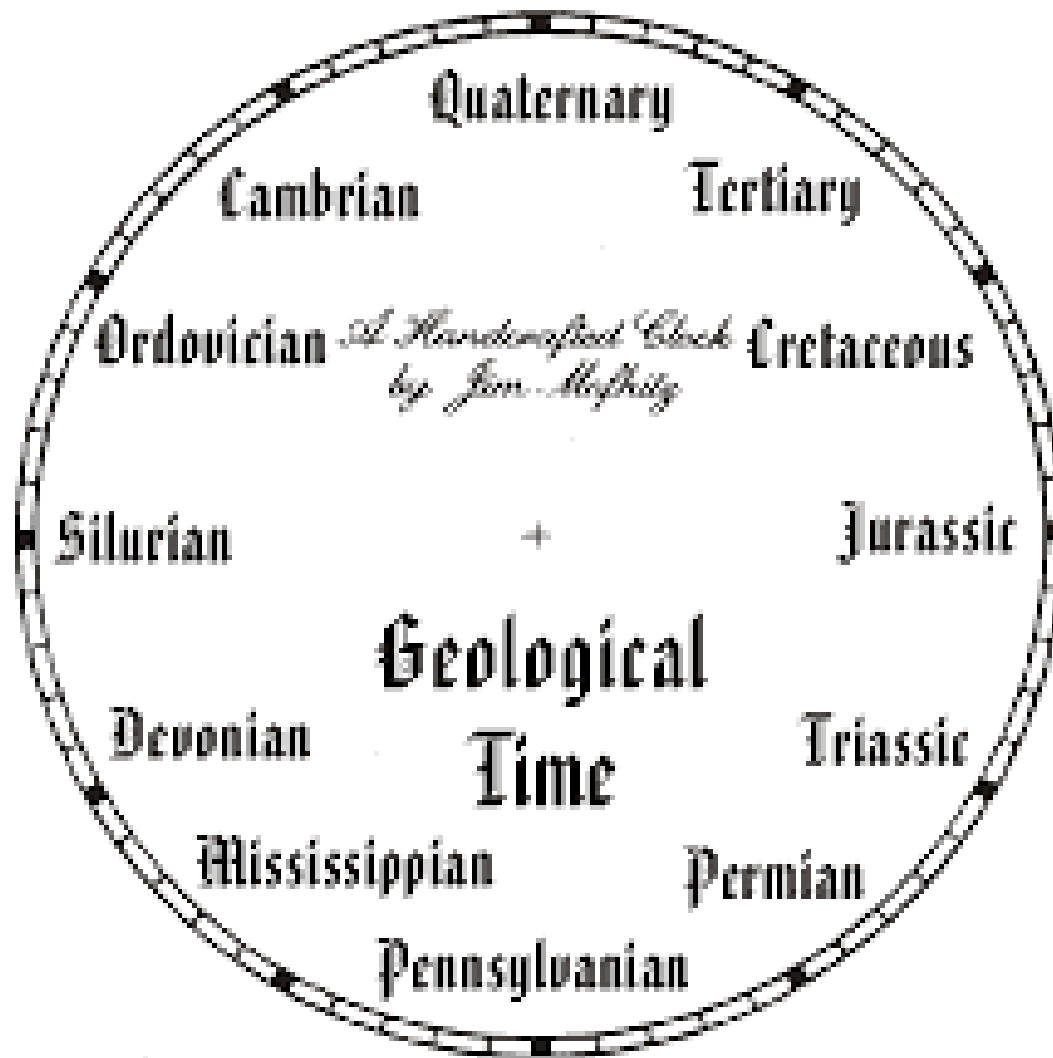


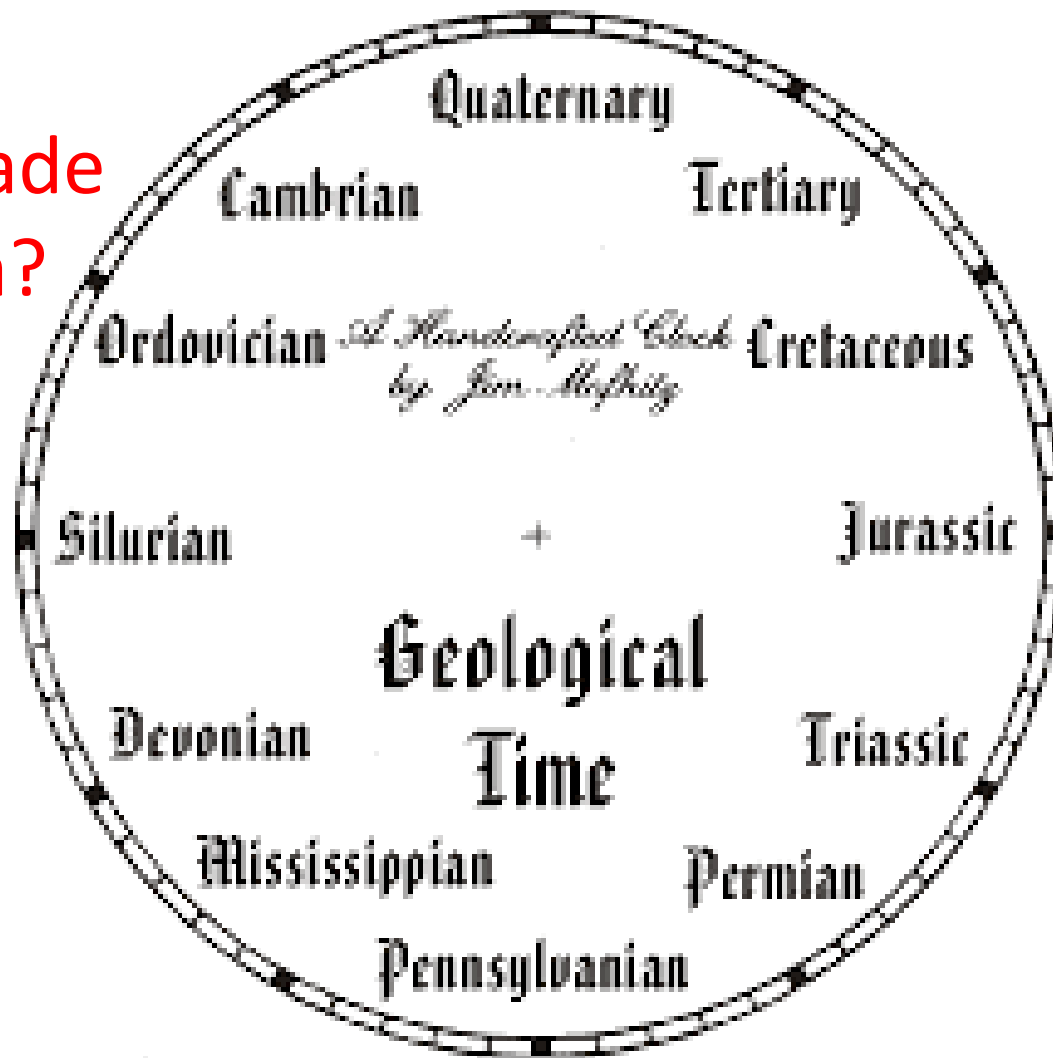
AGG 0201 Geoquímica de Ambientes Superficiais



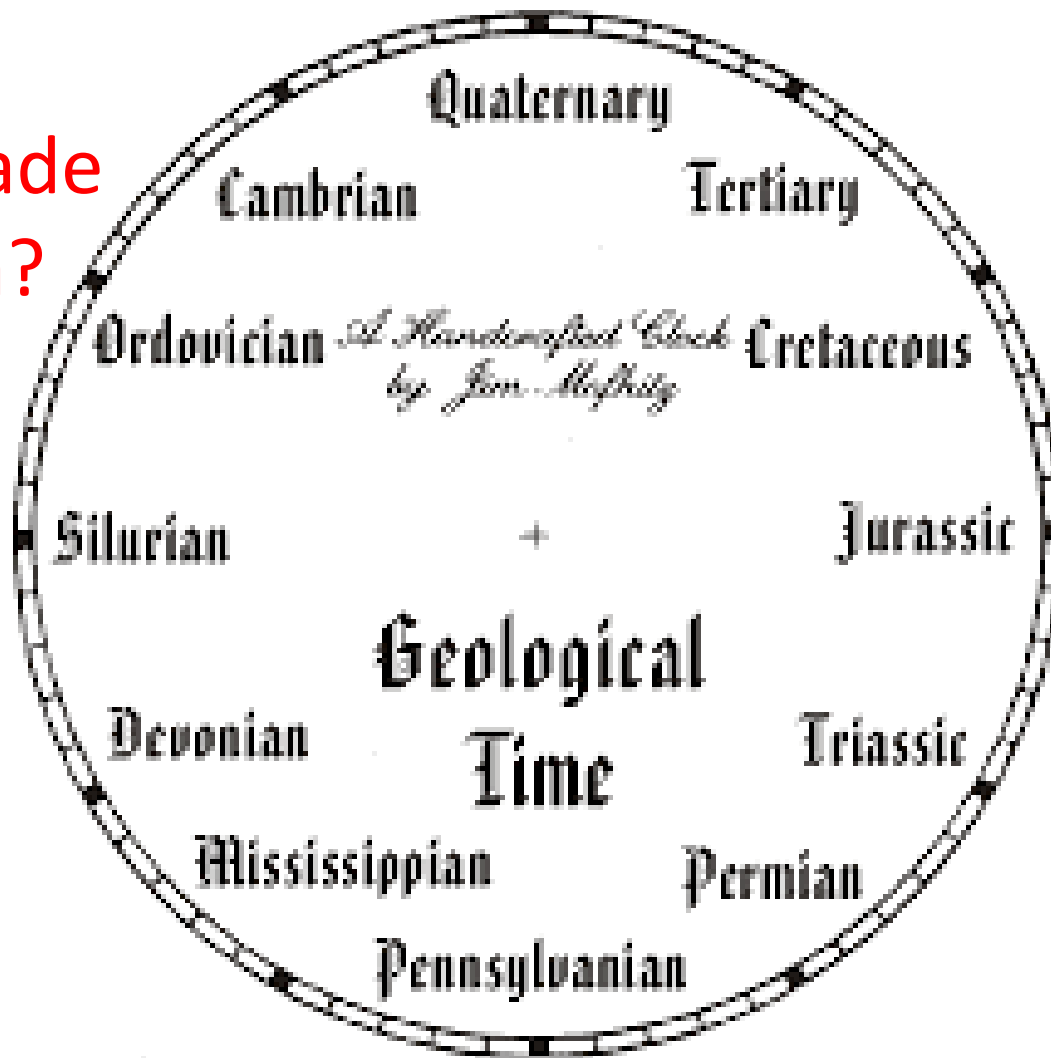
Profa. Andréa Teixeira Ustra
Departamento de Geofísica - IAG



Qual a idade
da Terra?



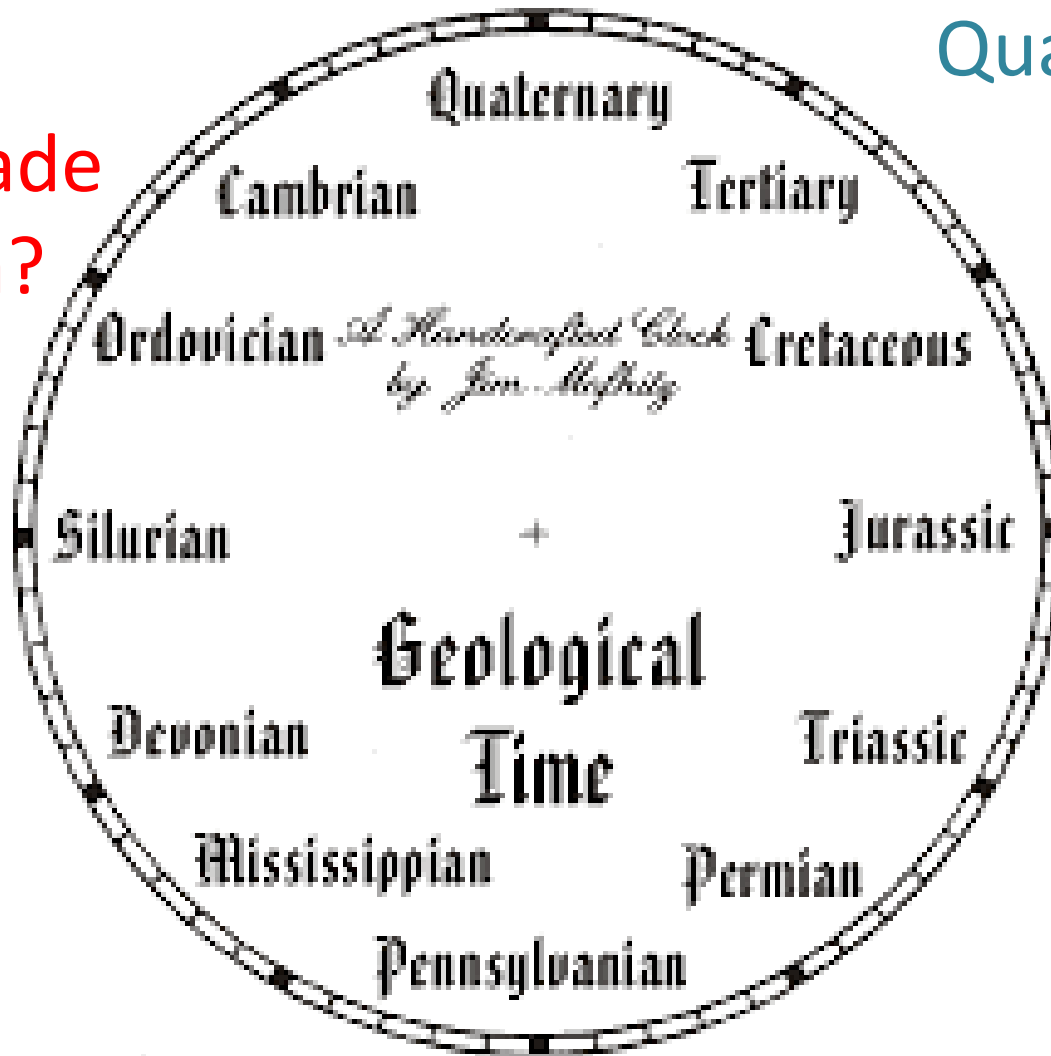
Qual a idade
da Terra?



Quando um depósito mineral se formou?
Quanto tempo levou?

Qual a idade
da Terra?

Quando surgiu
a vida?



Quando um depósito mineral se formou?
Quanto tempo levou?

O tempo é a dimensão que separa a geologia da maioria das outras áreas da ciência.



Figure 8.1 Arizona's Grand Canyon is an icon for geological time; 1,450 million years are represented by this photo. The light-coloured layered rocks at the top formed at around 250 Ma, and the dark ones at the bottom (within the steep canyon) at around 1,700 Ma. [SE]

Interpretação qualitativa

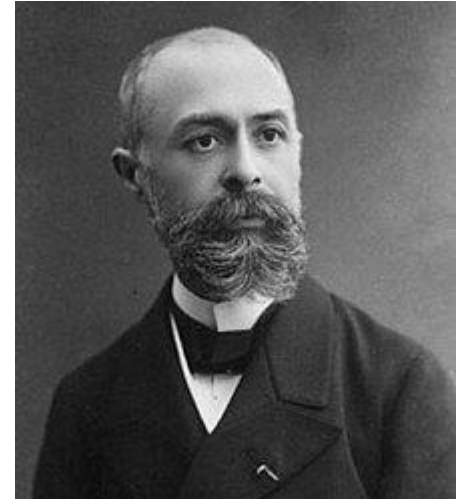
Tabela 15.2 Tentativas de estimar a antiguidade da Terra baseadas na acumulação de sedimentos e de sal nos oceanos, antes do advento de métodos radiométricos.

Ano	Autor	Espessura (m) de sedimentos considerada	Taxa sedimentar utilizada (cm/1000 anos)	Idade estimada (milhões de anos)
1860	Phillips	21.960	22,9	96
1869	Huxley	30.500	30,5	100
1871	Haughton	54.024	3,54	1526
1878	Haughton	54.024	—	200
1883	Winchell	—	—	3
1893	Walcott	Valores diferentes para rochas clásticas e rochas químicas		35-80
1899	Joly	Tempo necessário para salinizar os mares, originalmente de água doce		90
1909	Sollas	102.400 (Fanerozóico e Proterozóico)	305	34 (Fanerozóico e Proterozóico) + 17 (Arqueano, estimado) + 29 (lacunas no registro): Total = 80

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD E TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

Interpretação quantitativa

- Henri Becquerel
Emissões de Rx do U



- Marie e Pierre Curie
Radioatividade



Marie Curie



Prêmio Nobel de Física de 1903
radioatividade



Prêmio Nobel de Química de 1911.
polônio e o rádio

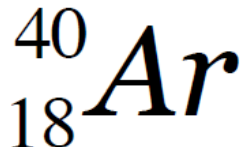
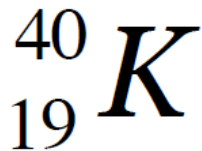
Irene Curie

Prêmio Nobel de Química, em 1935,
pela descoberta da radioatividade
artificial com Frederic Joliot-Curie.



ÁTOMOS E ISÓTOPOS

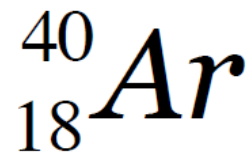
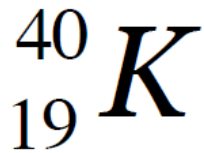
- Átomos consistem de **prótons** (Z) e **nêutrons** (N) que compõem um núcleo, cercado por uma **nuvem de elétrons**.
- O número de prótons, o **número atômico**, define um elemento químico. O número atômico especifica a posição de um elemento na tabela periódica.
- O número de prótons e nêutrons combinados definem a massa atômica, que é denominada de **número de massa**, A.



Núcleos com o mesmo número de prótons mas diferente número de nêutrons define um **isótopo**.

ÁTOMOS E ISÓTOPOS

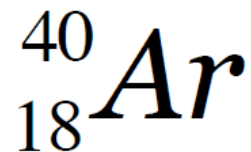
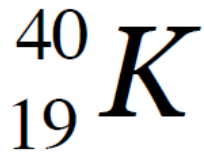
- Alguns isótopos são instáveis e sofrem **decaimento radioativo** espontâneo para formar novos isótopos e/ou elementos químicos.
- O processo pelo qual os isótopos instáveis espontaneamente decaem para outros isótopos (instáveis ou não) é chamado de **radioatividade**.



Núcleos com o mesmo número de prótons mas diferente número de nêutrons define um **isótopo**.

Isótopos Estáveis x Instáveis

- A maior parte dos núcleos são instáveis, ou seja, as respectivas combinações de prótons e nêutrons não originam **configurações nucleares estáveis**.
- Esses núcleos, chamados radioativos, se transformam pela emissão de partículas, elétrons, pósitrons, neutrinos e radiação eletromagnética (fótons).



Núcleos com o mesmo número de prótons mas diferente número de nêutrons define um **isótopo**.

Estabilidade nuclear

No núcleo: forças de repulsão coulombianas (FC) x forças fortes (FF)

- $FF > FC$ núcleo é estável

FC – repulsão entre prótons

FF - interação nuclear forte entre p-p, entre p-n e entre n-n

- $FC > FF$ núcleo instável

Átomos dos isótopos do mesmo elemento diferem pelas propriedades nucleares - **nuclídeos**

Abundância dos nuclídeos

- H: elemento mais abundante do universo → cada 100 átomos 93 são de H → 76% da massa total do universo.
- He: 2º elemento mais abundante; 23% do peso.
- 1% restante, os dez elementos mais abundantes em ordem decrescente são: O, C, N, Ne, Mg, Si, Fe, S, Ar e Na.
- A abundância de todos os outros elementos restantes geralmente decresce com o aumento do número atômico.

Origem

1. **Primordial** (formado c/ o universo)
2. **Cosmogênico** (criado na atmosfera)
3. **Antropogênico** (criado em usinas e bombas nucleares)
4. **Radiogênico** (formado como produto de decaimento)

Nuclídeos Cosmogênicos

- Raios cósmicos de origem extraterrestre (Sol e Via Láctea), constituídos por prótons de alta energia ($\sim 85\%$), partículas alfa ($\sim 14\%$) e núcleos atômicos mais pesados ($\sim 1\%$), interagem com a atmosfera terrestre
- ex.: ^3H e ^{14}C

Nuclídeo	Símbolo	Meia-vida	Fonte
Carbono-14	^{14}C	5730 anos	Interações entre raios cósmicos, $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$
Tritio	^3H	12,3 anos	Interações dos raios cósmicos com N e O; fragmentação dos raios cósmicos, $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$
Berílio-7	^7Be	53,28 dias	Interações dos raios cósmicos com N e O

Datações utilizando estes elementos $\rightarrow$ idade do último contato com atmosfera ou extensão de tempo em contato com atmosfera

Nuclídeos Antropogênicos

Trítio, Iodo, Césio, Plutônio, entre outros
– produzidos em testes nucleares,
reatores de fissão nuclear, produção de
armas nucleares, produtos usados na
medicina



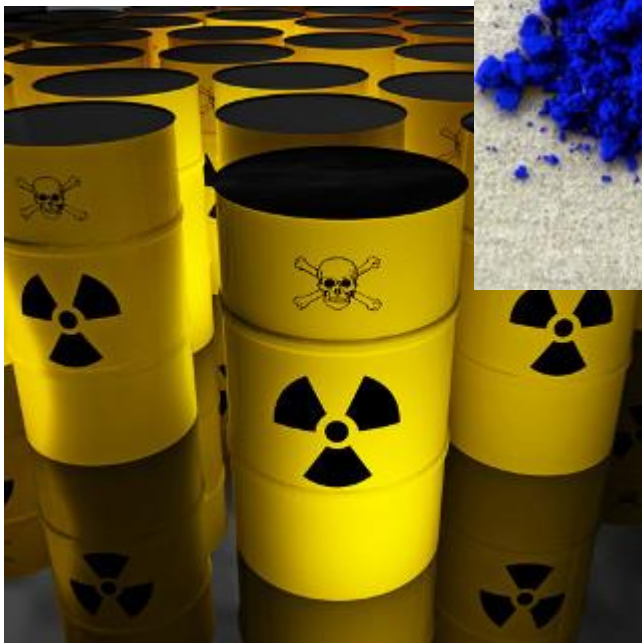
1987: o acidente com Césio-137 em Goiânia

Césio-137 - Isótopo radioativo usado em equipamentos de radiografia. Usado na forma de um sal e armazenado dentro de uma bomba ou cápsula revestida de uma caixa protetora de aço e chumbo.

Sucateiros encontraram e venderam as caixas para um ferro-velho. O dono do ferro-velho abriu a caixa para aproveitar o chumbo, e liberou para o meio ambiente cerca de 19 g de cloreto de césio-137.

O dono do ferro-velho distribuiu o material a amigos e familiares. Dezenas de pessoas foram contaminadas, e os primeiros sintomas que apareceram apenas algumas horas depois foram náuseas, vômitos, tontura e diarreia.

Vigilância Sanitária acionada - foi dado o alerta de contaminação radioativa - força-tarefa para remover os objetos contaminados e tratar as vítimas.



Nuclídeos Radiogênicos

- Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia (instável) é a desintegração de um núcleo através da emissão de energia em forma de partículas ou radiação.
- Se o núcleo de um determinado átomo for instável, ele tende a se transformar num outro mais estável.

Nuclídeos Radiogênicos

- Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia (instável) é a desintegração de um núcleo através da emissão de energia em forma de partículas ou radiação.
- Se o núcleo de um determinado átomo for instável, ele tende a se transformar num outro mais estável.
- **Parent isotope** – isótopo pai = isótopo radioativo, o que decai
- **Daughter isotope** – isótopo filho(a) = isótopo radiogênico, gerado pelo decaimento

$$-\frac{dP}{dt} = \frac{dD}{dt} = \lambda P$$

Decaimento radioativo

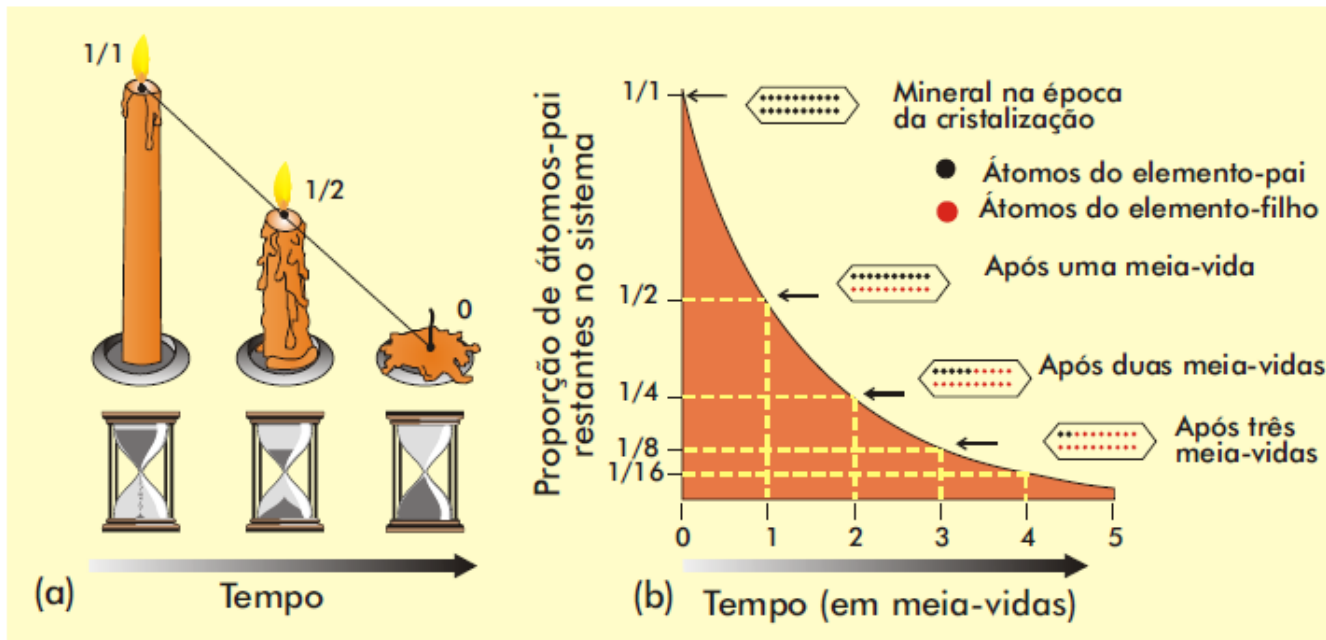


Fig. 15.16 Decaimento radioativo e o conceito de meia-vida. a) A meia-vida de uma vela corresponde, rigorosamente, ao tempo necessário para queimar a metade dela. b) No decaimento radioativo o processo envolve a estabilidade dos núcleos dos átomos, independentemente da massa presente.

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

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

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

N = quantidade de isótopo radioativo num determinado tempo t

N_0 = Quantidade inicial do isótopo radioativo antes de iniciar o decaimento

λ = Constante de decaimento radioativo

t = tempo desde que iniciou o decaimento radioativo

Decaimento radioativo

Isótopos Radioativos (Pai)

$$P = P_0 e^{(-\lambda t)}$$

P = quantidade de isótopo radioativo (pai) num determinado tempo t

P₀ = Quantidade inicial do isótopo radioativo (pai) antes de iniciar o decaimento

λ = Constante de decaimento radioativo

t = tempo desde que iniciou o decaimento radioativo

$$D^* = P_0 - P$$

Isótopos Radiogênicos (Filho)

$$D = D_0 + D^*$$

D = Quantidade de isótopo filho num determinado tempo t

D₀ = Quantidade inicial de isótopo filho no sistema

D* = Quantidade de isótopo radiogênico produzido pelo decaimento radioativo

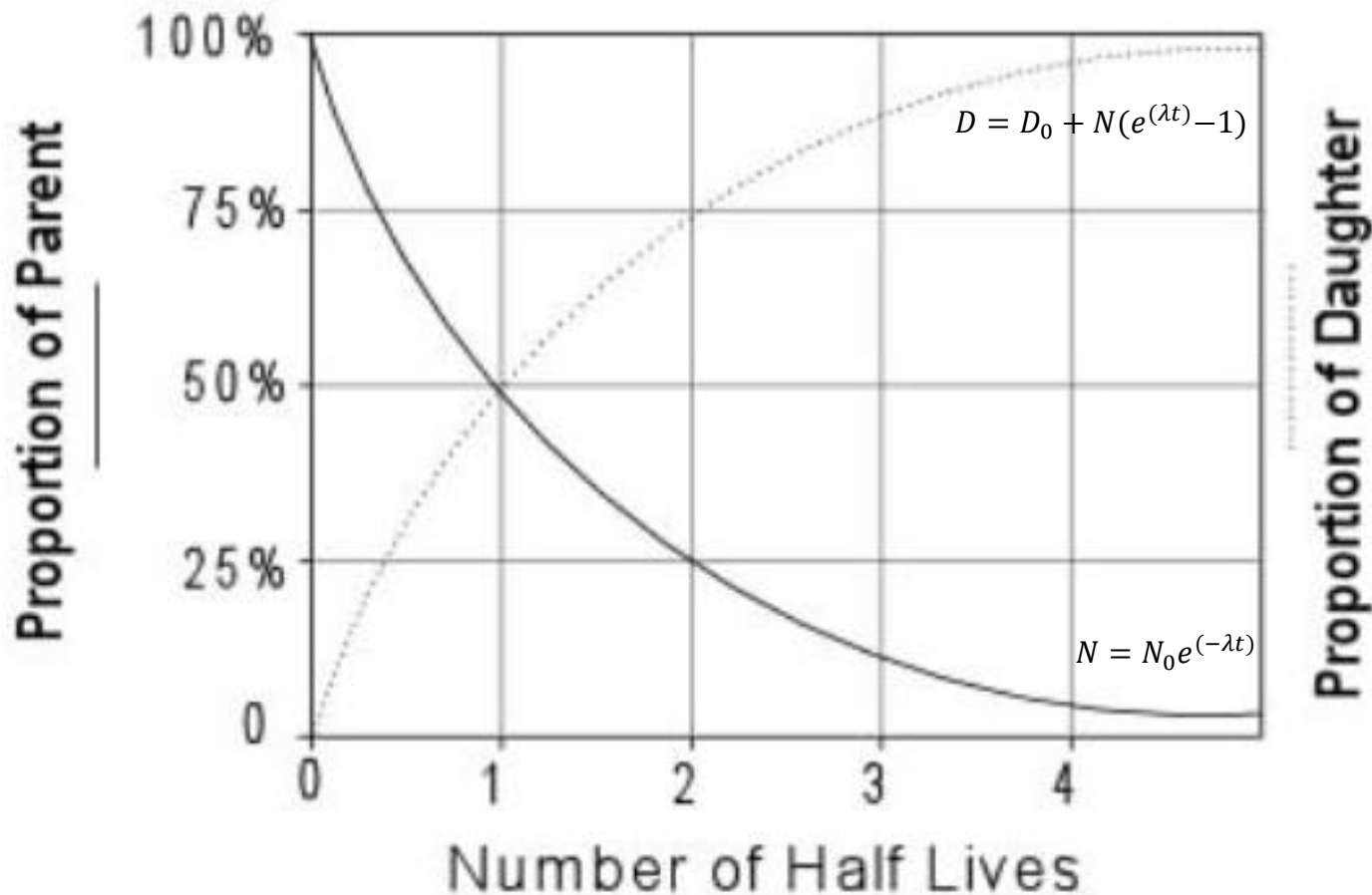
O que é conhecido aqui?

O que é medido?

$$D \equiv P_0 - P = P(e^{\lambda t} - 1)$$



$$D = D_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$$

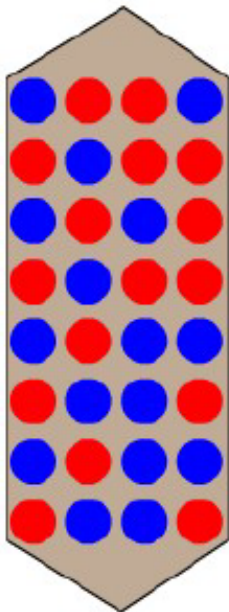


Decaimento radioativo

- Constantes de desintegração não são afetadas pela por fenômenos físicos ou químicos
- Não depende da massa da amostra
- Não é afetado por pressão nem temperatura

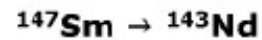
BOM RELÓGIO GEOLÓGICO!

Meia Vida

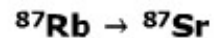


Radioativo → Radiogênico

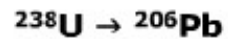
Meia-vida



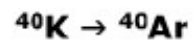
106 bilhões de anos



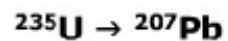
48 bilhões de anos



4.5 bilhões de anos



1.3 bilhões de anos



713 milhões de anos

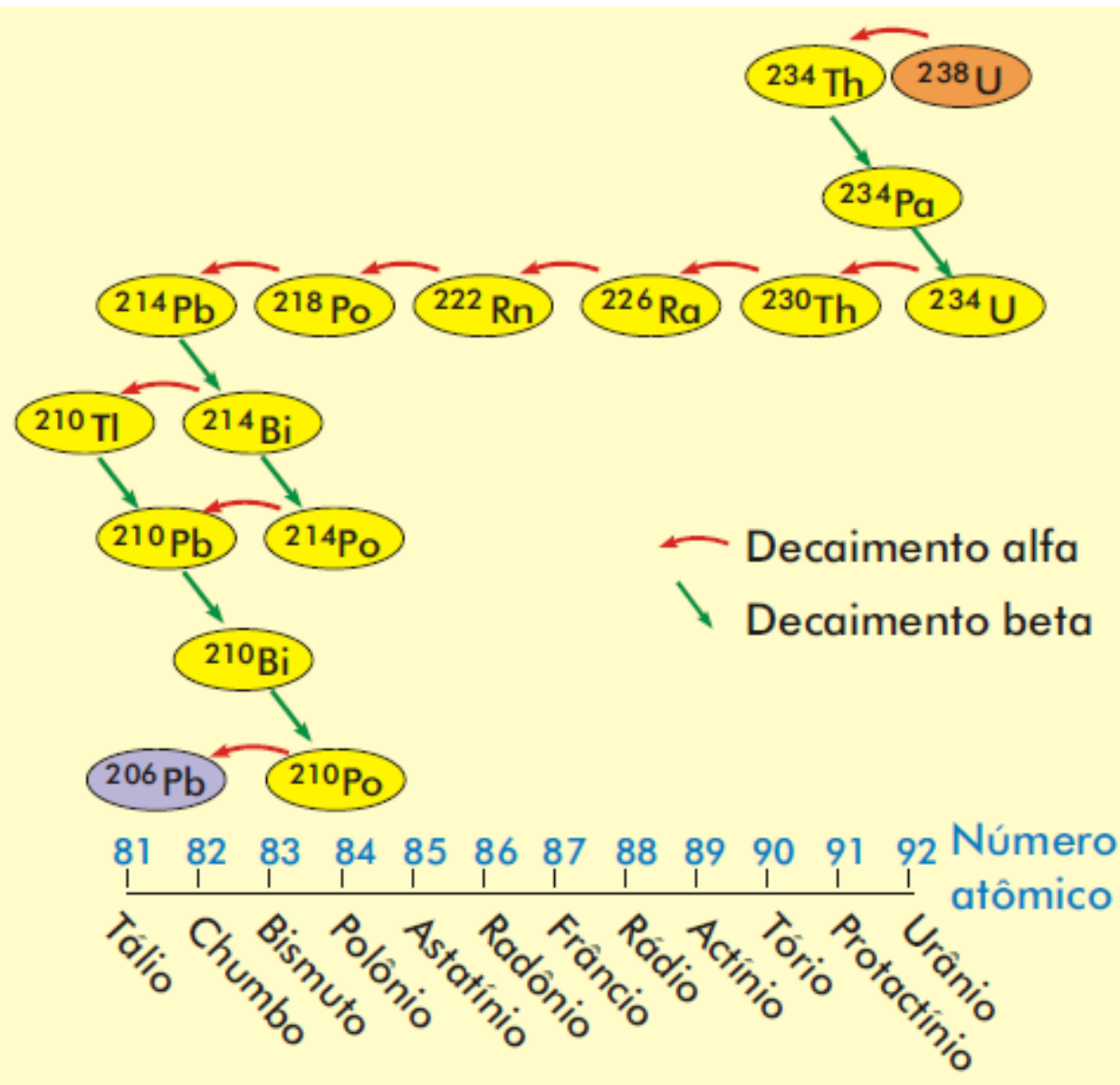
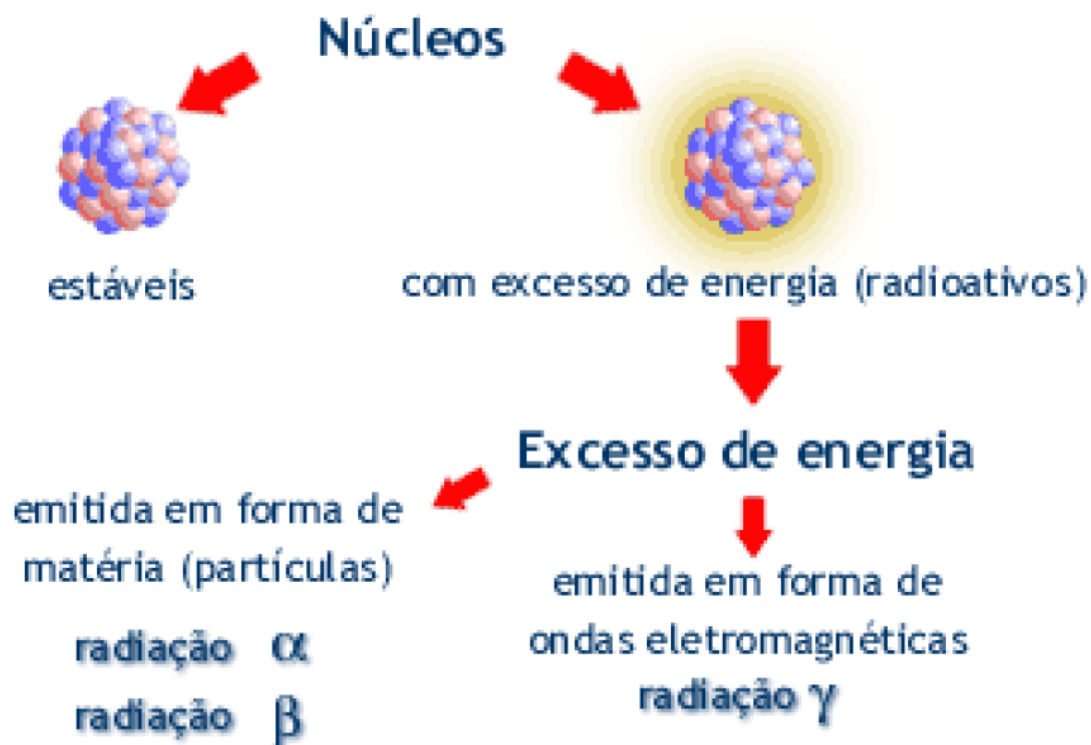


Fig. 15.15 Série de decaimento radioativo do Urânio 238 ($^{238}\text{U}_{92}$) para Chumbo 206 ($^{206}\text{Pb}_{82}$). Neste processo, a emissão de partículas alfa e partículas beta transforma o Urânio 238 (radioativo) em Chumbo 206 (radiogênico), um elemento estável.

Radioatividade



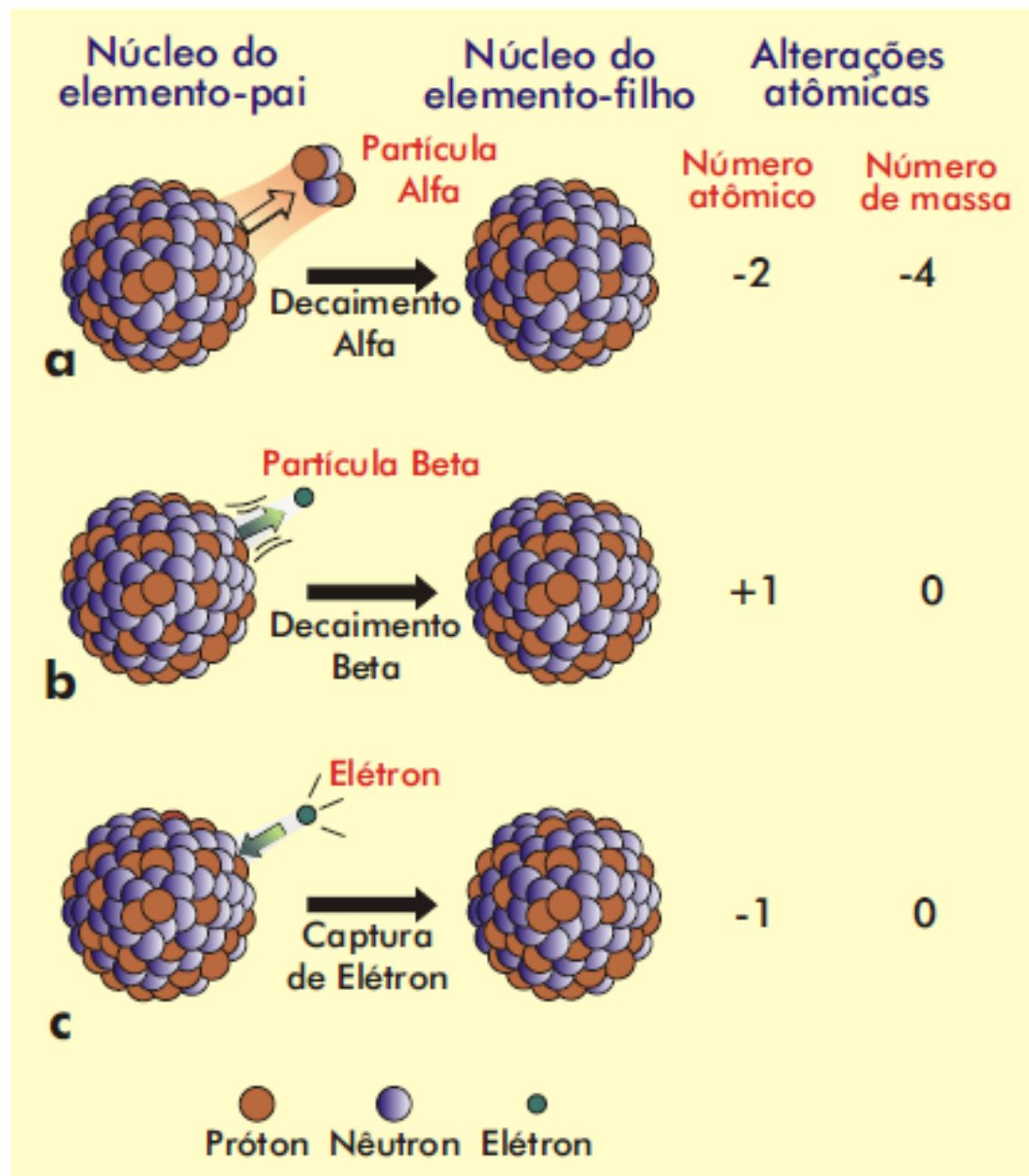
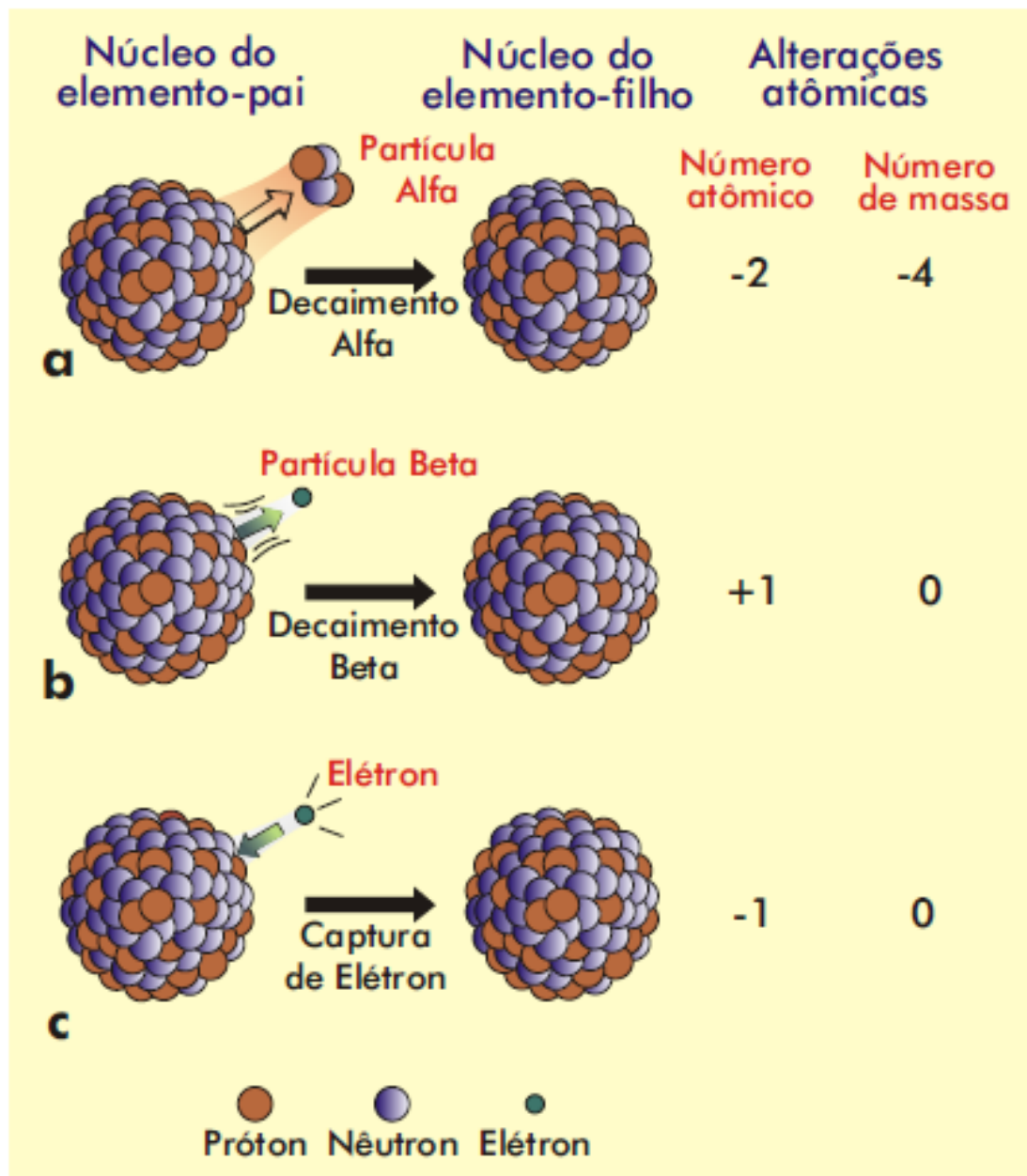
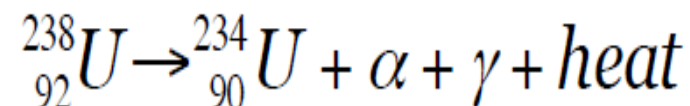


Fig. 15.14 Os três tipos de decaimento radioativo. a) Decaimento alfa. b) Decaimento beta. c) Decaimento por captura de elétron.

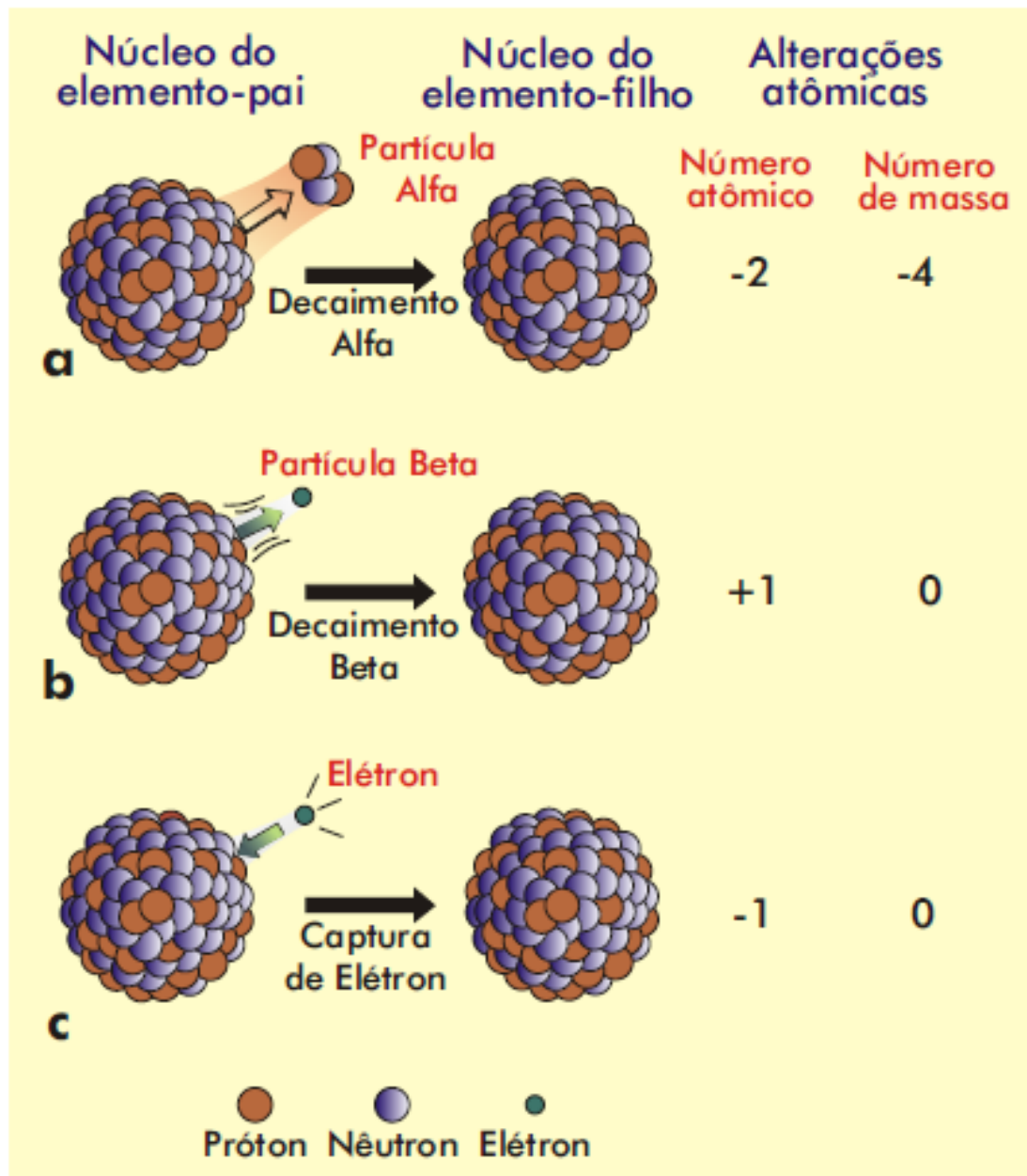


Dcaimento alfa

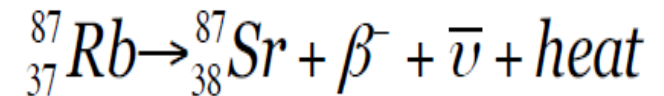


Uma partícula α é ejetada do núcleo do átomo-pai, juntamente com a emissão de raios γ e liberação de calor.

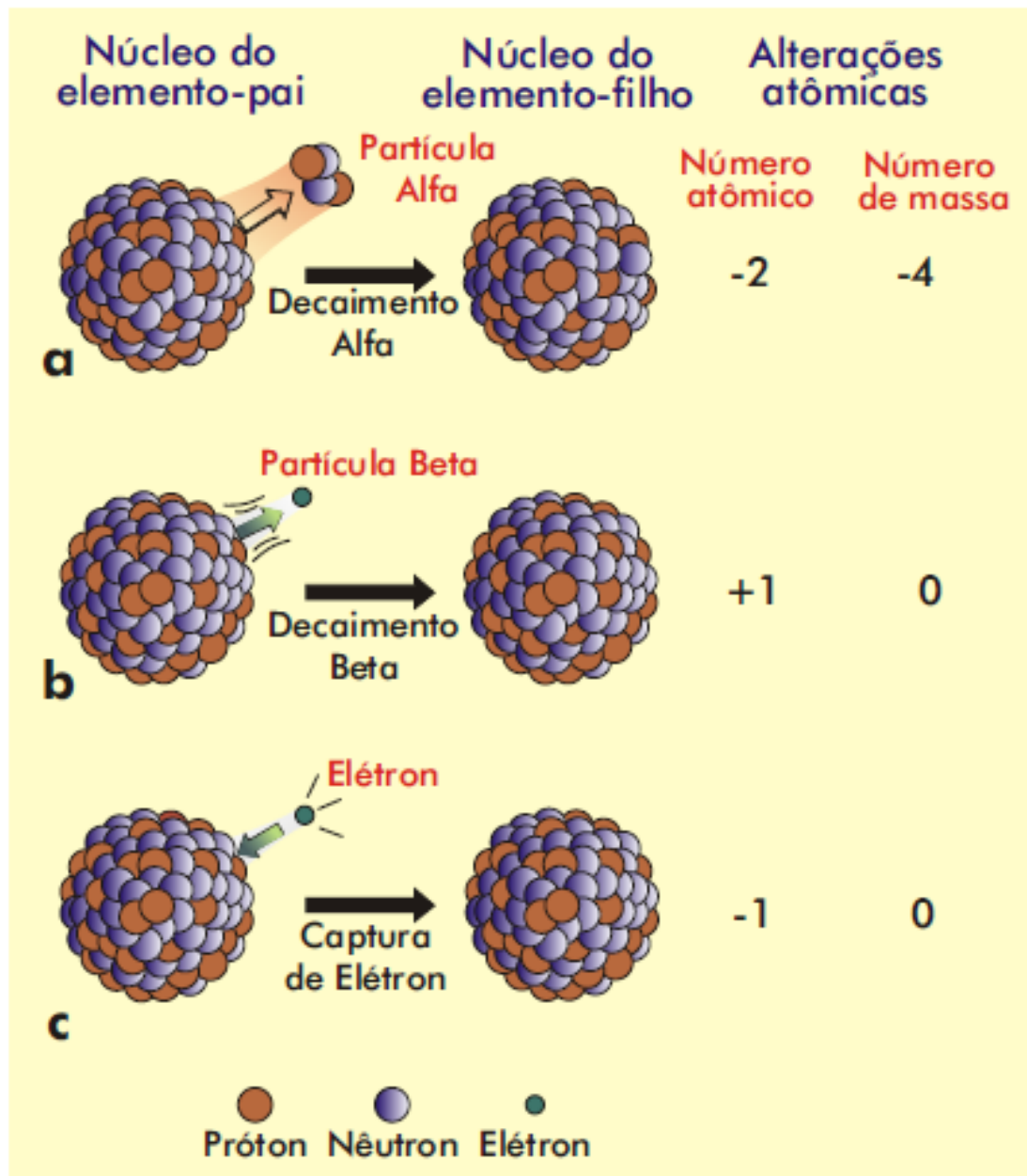
partícula α = 2 prótons + 2 nêutrons
= núcleo de He



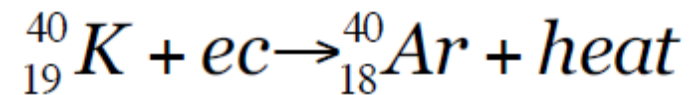
Decaimento Beta



Uma partícula β é ejetada do núcleo do átomo-pai, juntamente com um antineutrino e liberação de calor.



Captura de elétrons



Captura de um elétron por um núcleo → conversão de um próton em um nêutron.

Como medir?

Tabela 15.3 Isótopos mais utilizados em datação radiométrica e suas respectivas meia-vidas.

Elemento-Pai (Radioativo)	Elemento-Filho (Estável)	Meia-Vida (bilhões de anos)
Potássio 40 (^{40}K)	Argônio 40 (^{40}Ar)	1,3
Rubídio 87 (^{87}Rb)	Estrôncio 87 (^{87}Sr)	48,8
Samário 147 (^{147}Sm)	Neodímio 143 (^{143}Nd)	106
Tório 232 (^{232}Th)	Chumbo 208 (^{208}Pb)	14,01
Urânio 235 (^{235}U)	Chumbo 207 (^{207}Pb)	0,704
Urânio 238 (^{238}U)	Chumbo 206 (^{206}Pb)	4,47
Rênio 187 (^{187}Re)	Ósmio 187 (^{187}Os)	42,3

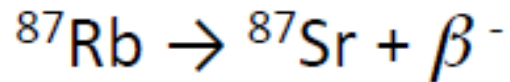
Espectrômetro de massa – separa os elementos-pai e elementos-filho

Como analisar?

A **composição isotópica** de isótopos radiogênicos é fornecida em geral na forma de **razão entre isótopos radioativos e isótopos estáveis não-radiogênicos** de referência (constantes no tempo).

$$D = D_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$$

$$y = A + Bx$$



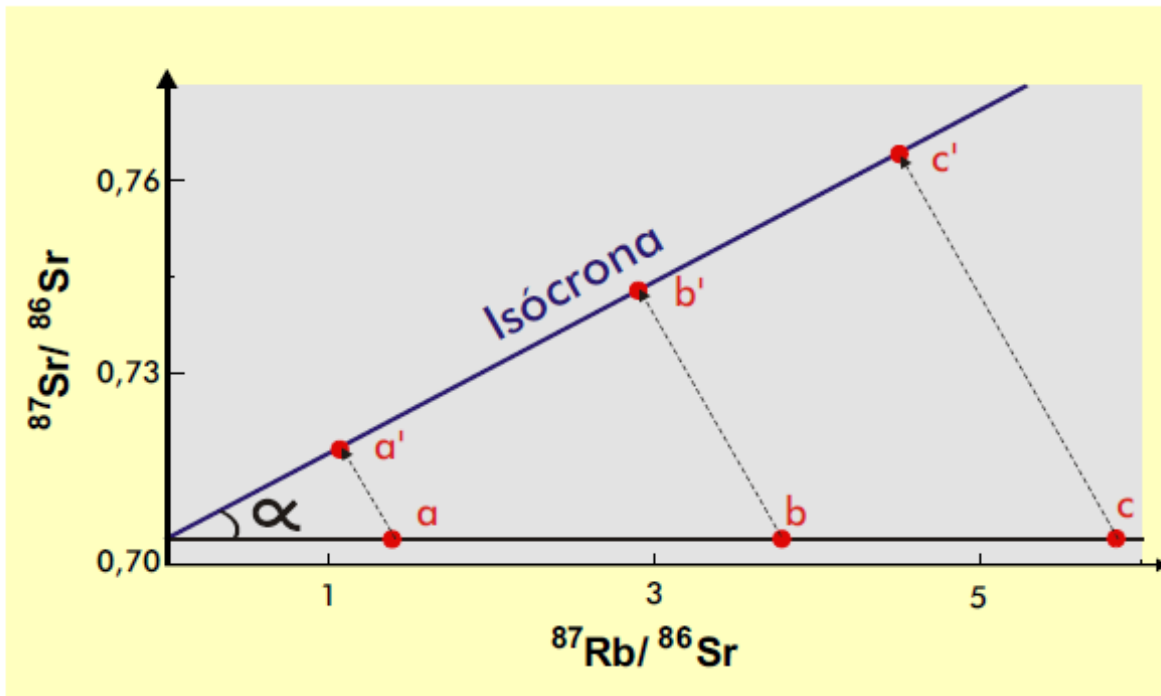
$$t = \frac{\ln(D - D_0 + P) - \ln(P)}{\lambda}$$

$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ isótopo filho hoje	=	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ isótopo filho inicial	+	$(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}) (e^{\lambda t} - 1)$ isótopo pai hoje
--	---	---	---	--

Medindo várias amostras de uma rocha

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 + (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}) (e^{\lambda t} - 1)$$



Considerando o momento que o sistema isotópico se iniciou:

Amostras a , b e c – mesmo ^{86}Sr e diferente ^{87}Rb

Atualmente:

Amostras a' , b' e c' – valores atuais de ^{87}Sr e ^{86}Sr

Fig. 15.19 Diagrama isocrônico Rb-Sr. Os pontos a , b e c representam valores isotópicos de três amostras no momento do fechamento de seus sistemas isotópicos no passado. Com o decaimento do ^{87}Rb , estas amostras apresentam valores atuais de a' , b' e c' . A reta definida por estes pontos, a isócrona, terá um ângulo, α , diretamente proporcional à idade da amostra.

Clair Patterson – Idade da Terra ~4,5 bilhões de anos



Determinou a idade da Terra e demonstrou que a Terra e os meteoritos tem a mesma idade e origem.

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{D - D_0}{N} \right)$$

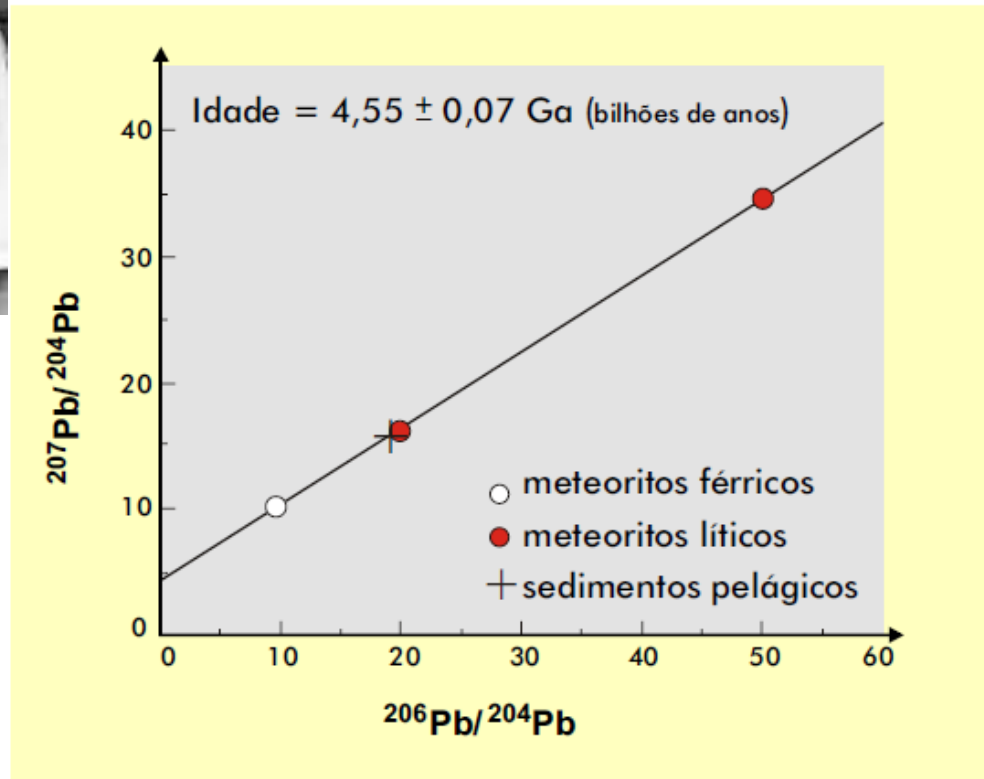


Fig. 15.21 Diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ mostrando como foi determinada a idade da Terra por Patterson em 1956.

Isótopos estáveis (H, O, C, S)

- Não-radioativos = não sofrem decaimento;
- Isótopos estáveis do mesmo elemento têm quase as mesmas características químicas – nuvem eletrônica idêntica;
- Diferenças em massa devido à diferença no número de nêutrons;
- Causam separação parcial (fracionamento) entre isótopos leves e pesados.

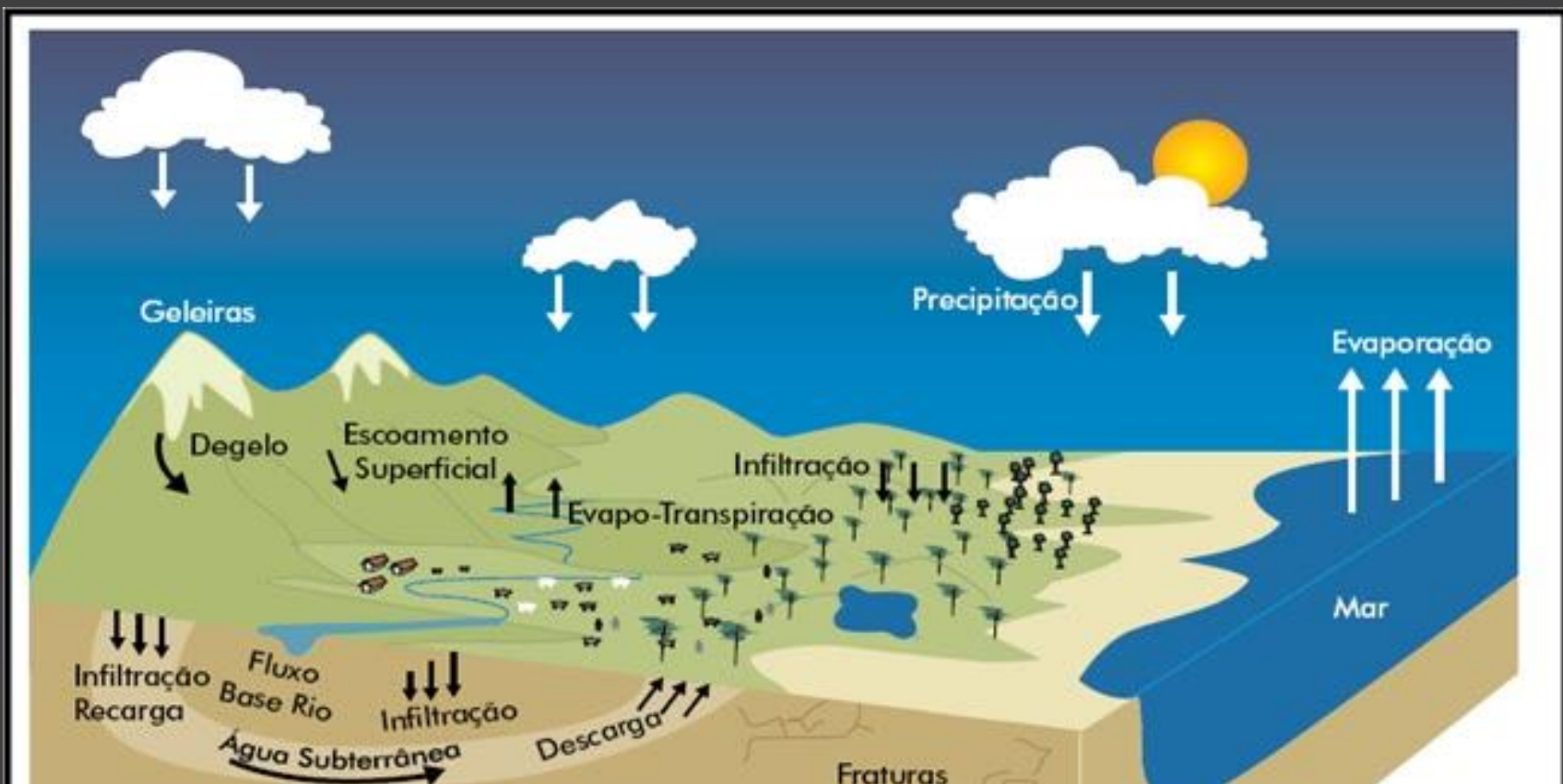
Isótopos estáveis (H, O, C, S)

Isótopos	Razão isotópica	Notação
^1H , ^2H	$^2\text{H}/^1\text{H}$	δD
^{10}B , ^{11}B	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$	$\delta^{11}\text{B}$
^{12}C , ^{13}C	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}$
^{16}O , ^{17}O	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}$
^{32}S , ^{33}S , ^{34}S	^{36}S $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}$

A **composição isotópica** de qualquer substância é dada em termos da variação das **razões entre os isótopos** em **comparação** com uma substância **padrão** de composição conhecida.

$\delta > 0$ amostra enriquecida no isótopo pesado em relação ao isótopo padrão

$\delta < 0$ amostra empobrecida no isótopo pesado em relação ao isótopo padrão



Águas que possuem ^{16}O em sua composição evaporam mais rapidamente e as que possuem ^{18}O condensam mais rapidamente.

Consequentemente, as águas presentes em regiões glaciais serão ricas em ^{16}O e águas oceânicas geralmente serão ricas em ^{18}O .

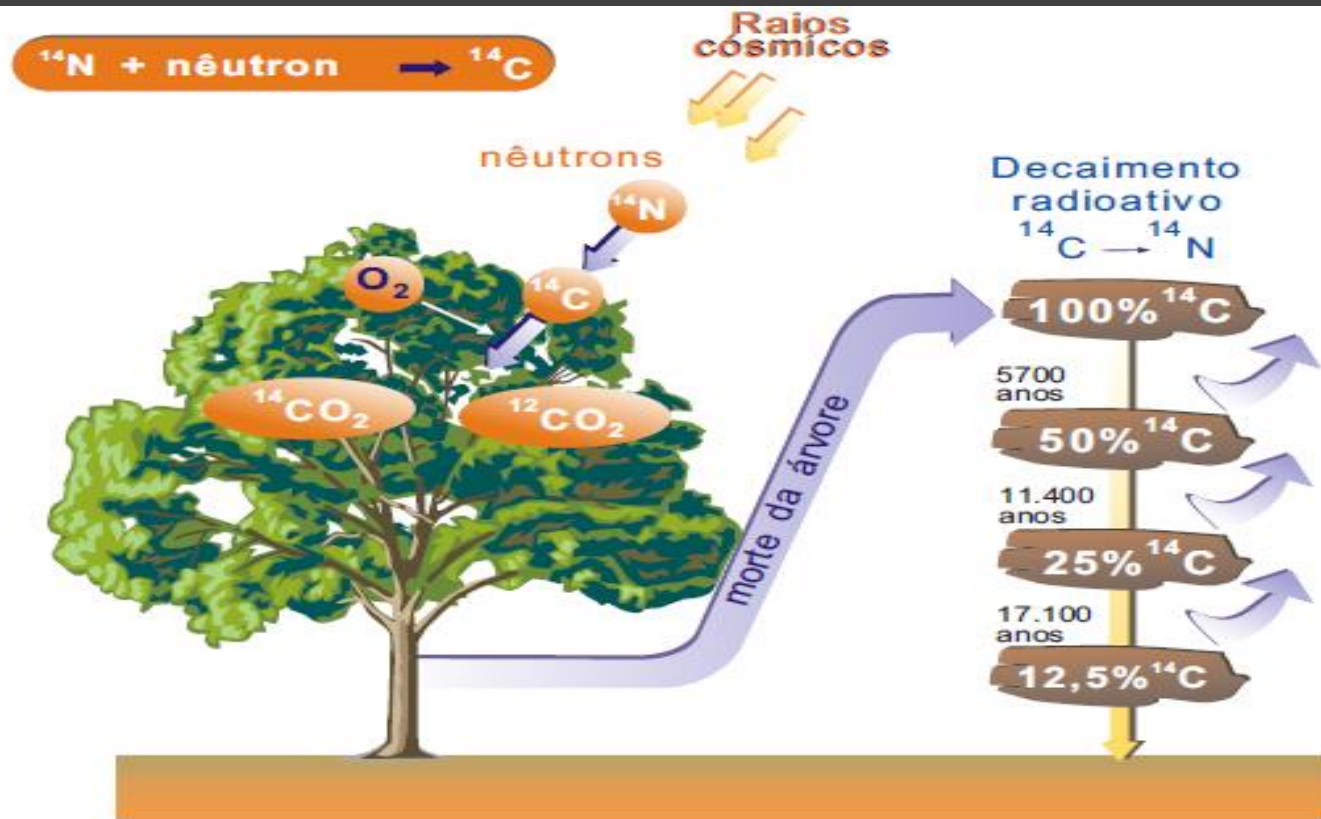


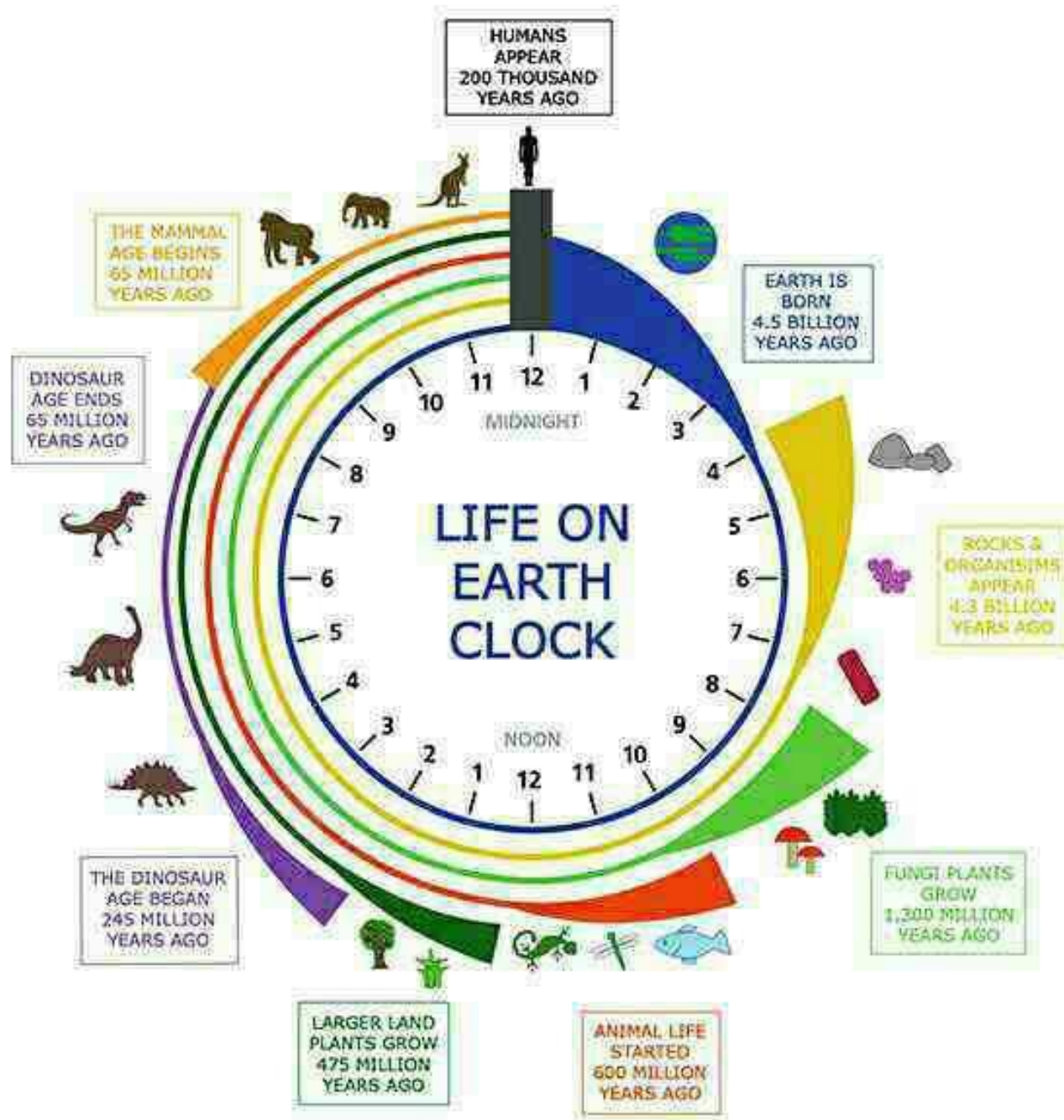
Fig. 15.20 Formação do ^{14}C .

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

Atmosfera: $^{14}\text{N} + \text{raios cósmicos} \rightarrow ^{14}\text{C}$

Forma CO_2 na atmosfera e entra para os ciclos biológicos: $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} \sim \text{constante}$

Ao morrer não há mais uso de C: $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$ e $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ diminui



Exercício Individual 1

- Use a bibliografia disponibilizada, ou outras que achar pertinente, e cite um isótopo estável e um radiogênio, suas aplicações, vantagens e limitações.