

# V Seminário - A Filosofia das Origens

Rio de Janeiro, Agosto de 2008



## Taxas de Difusão de Hélio Apontam Para Uma Terra Jovem

Adauto J. B. Lourenço

Este trabalho está baseado na  
pesquisa originalmente feita por:

**D. Russell Humphreys, Ph.D.**  
Institute for Creation Research

**Steven A. Austin, Ph.D.**  
Institute for Creation Research

**John R. Baumgardner, Ph.D.**  
Los Alamos National Laboratory

**Andrew A. Snelling, Ph.D.**  
Institute for Creation Research

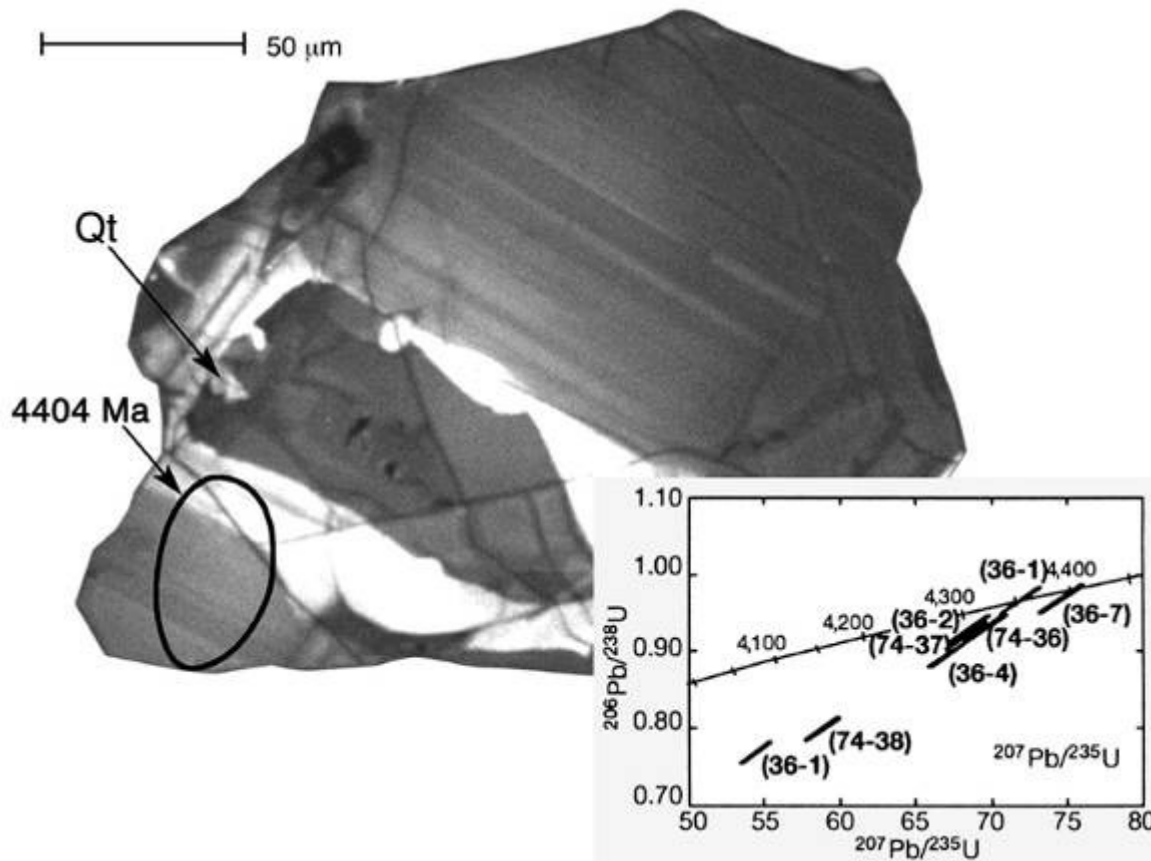
**Robert V. Gentry, Ph.D.**  
Oak Ridge National Laboratory

**“Helium Diffusion Rates Support Accelerated Nuclear Decay”**

*Creation Research Society Quarterly Journal*, Vol. 41, nº 1, 2004

# Datação Radiométrica

Datas Antigas Produzidas Pelos Métodos de Datação Convencionais



Datação: 4,404 bilhões de anos (University of Wisconsin - Madison)

Wilde SA, Valley JW, Peck WH and Graham CM (2001) Evidence from Detrital Zircons for the Existence of Continental Crust and Oceans on the Earth 4.4 Gyr Ago. *Nature*. 409: 175-178.

# **Introdução**

---

# Zircão

## Silicato de Zircônio

**Fórmula Química:  $ZrSiO_4$**

**Composição:**

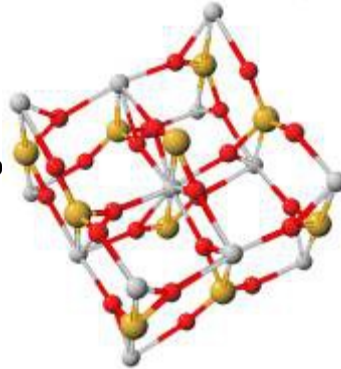
**$ZrO_2$  67,22 %**

**$SiO_2$  32,78 %**

**Zr 49,77%**

**Si 15,32%**

**O 34,91%**



**cristais de zircão em biotita**

**Cristalografia: tetragonal**

**Classe: bipiramidal tetragonal**

**Propriedades Ópticas: uniaxial**

**Clivagem: imperfeita em  $\{110\}$**

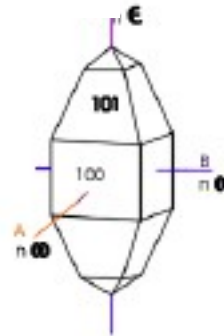
**Dureza: 7,5**

**Densidade relativa: 4,6 a 4,7**

**Brilho: resinoso a adamantino**

**Cor: incolor, amarelo-pálido, amarelo-esverdeado, marrom-amarelado, vermelho.**

**Ocorrência: Mineral acessório de rochas plutônicas, principalmente rochas ricas em sódio, em granitos, pegmatitos, nefelino-sienitos.**





# Elementos Radioativos na Crosta Terrestre

**Granito**



**Cristais de Zircônio**



**Silicato de Zircônio (ZrSiO<sub>4</sub>)**



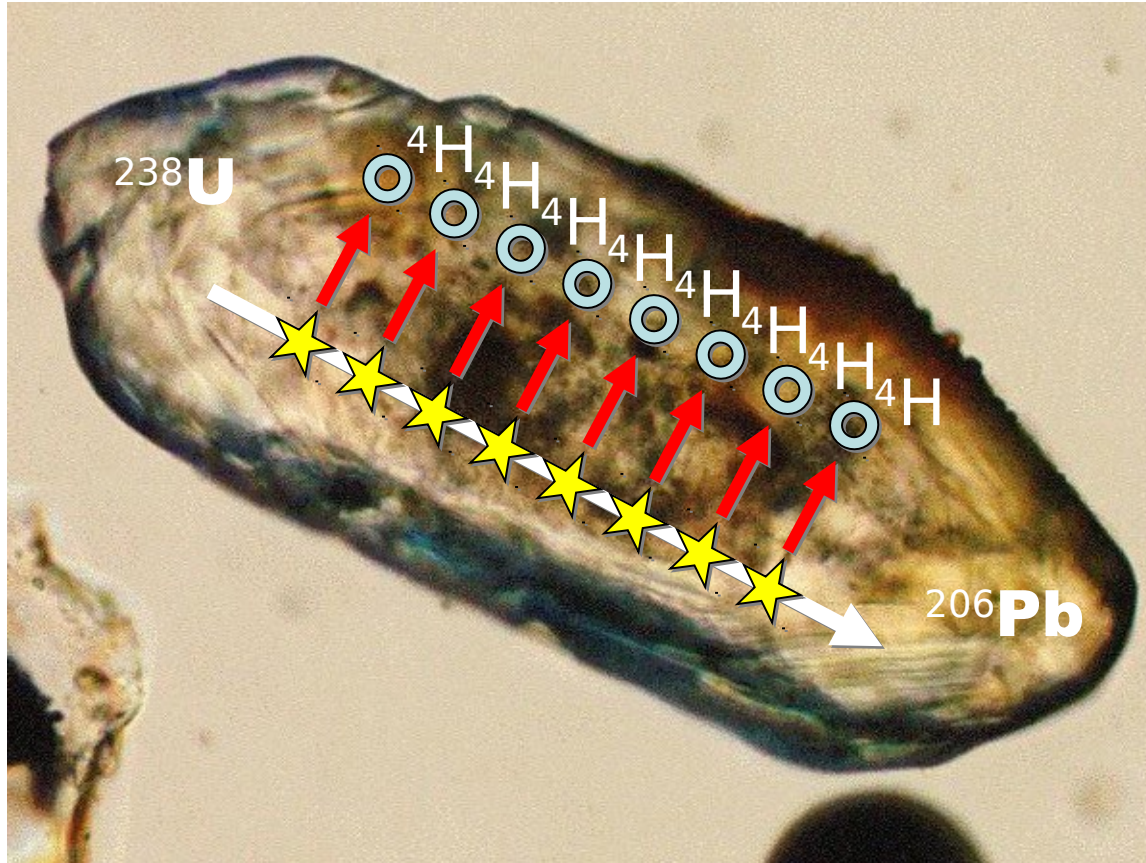
**Zircônio (Zr): 40**  
**Urânio (U): 92**  
**Tório (Th): 90**

**Urânio**  
**Tório**

**4% dos átomos de Zr são repostos por átomos de U e Th durante o processo de**

# Hélio em Cristais de Zircônio

Desintegração Nuclear (partículas  $\alpha$ )



**Dentro dos Cristais de Zircônio**

**Acridita-se que 90% do calor produzido internamente pela Terra é resultante da desintegração de Urânio e Tório**

# Hélio na Atmosfera



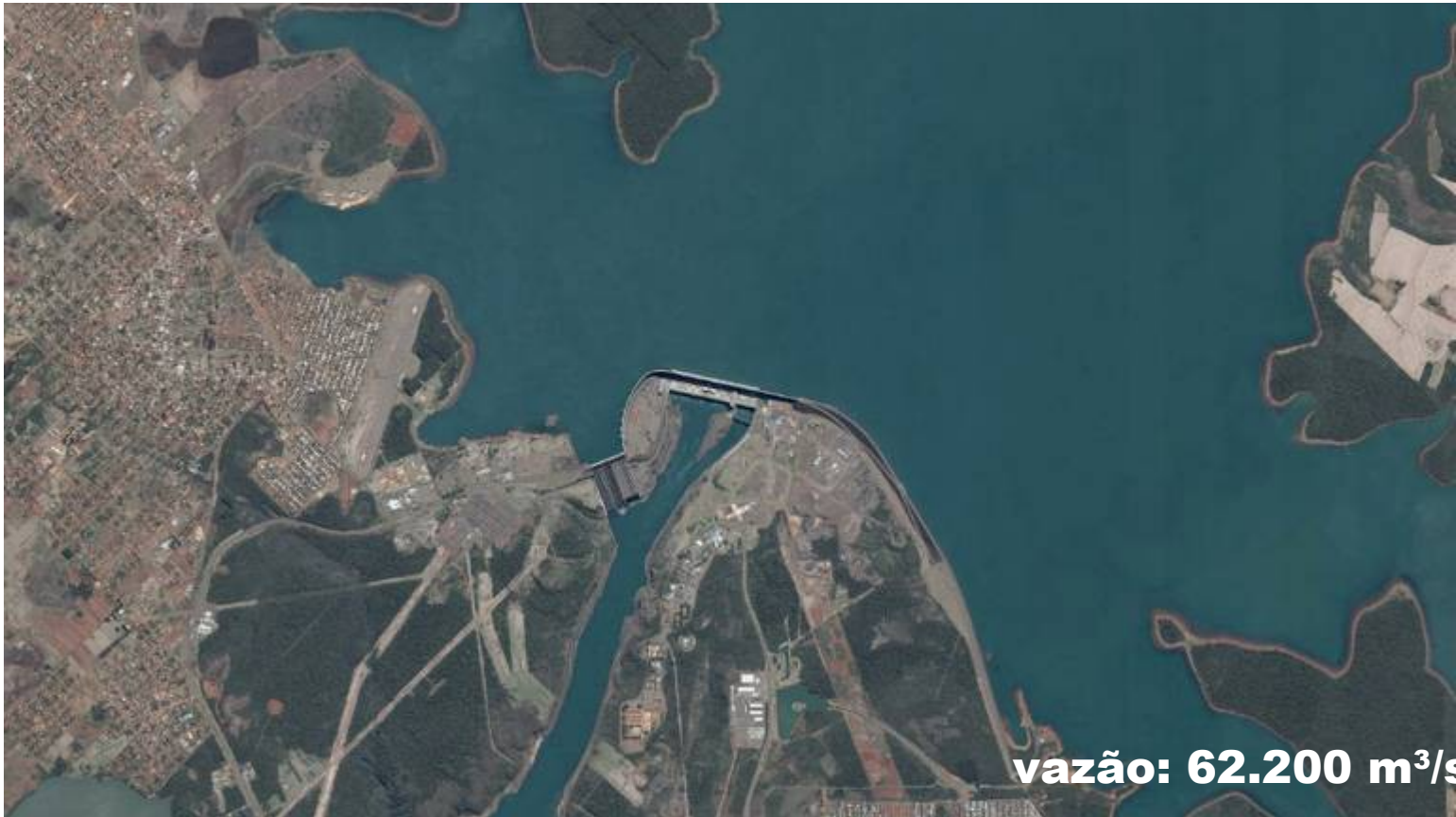
Nitrogênio	78,0842%
Oxigênio	20,9463%
Argônio	0,93422%
Dióxido de Carbono	0,03811%
Vapor d'água	aprox. 1%
<b>Hélio</b>	<b>0,000524%</b>

**A atmosfera atual possui apenas 0,04% de todo o Hélio que teria sido produzido por uma Terra com bilhões de anos.**



# Uma Analogia

## A Usina Hidrelétrica de Itaipú



# Uma Analogia



**Numa represa:**

**$Q_e$ : vazão de entrada**

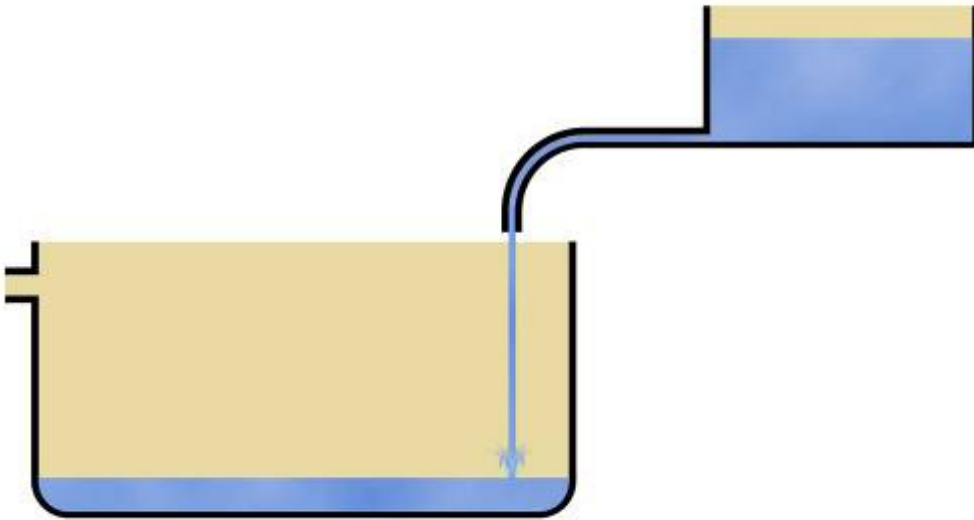
**$Q_s$ : vazão de saída**

**$V_r$ : volume no  
reservatório**

**$t_e$ : tempo de  
enchimento do  
reservatório**

$$t_e = \frac{V_r}{Q_e - Q_s}$$

# Uma Analogia



**Dois reservatórios:**

**$Q_e$ : vazão de entrada**

**$Q_s$ : vazão de saída**

**$V_r$ : volume no  
reservatório**

**$t_e$ : tempo de  
enchimento do  
reservatório**

$$t_e = \frac{V_r}{Q_e - Q_s}$$

# **O Hélio Que Está Faltando**



# Dados: Granodiorita de Jemez

(Granito pré-cambriano das montanhas de Jemez, Los Alamos, Novo México, EUA)

Idade atribuída: 1,5 bilhão de anos (métodos U, Th, Pb)

## MEDIDA CALCULADO

	Profundidade (n)	Temperatura (°C)	He (10 <sup>9</sup> cm <sup>3</sup> /μg)	Q/Q <sub>o</sub>	Erro
0	0	20	8.2	—	—
1	960	105	8.6	0.58	±0 .17
2	2170	151	3.6	0.27	±0 .08
3	2900	197	2.8	0.17	±0 .05
4	3502	239	0.16	0.012	±0 .004
5	3930	277	- 0 .02	- 0 .001	—
6	4310	313	- 0 .02	- 0 .001	—

Tabela 1 - Retenção de Hélio em Zircão (amostras da perfuração de Jemez)  
STP - standard temperature and pressure

Q: quantidade observada de He (nº de átomos de He no cristal)

Q<sub>o</sub>: quantidade calculada de átomos de He retidos se difusão não tivesse ocorrido (baseada na quantidade de átomos de chumbo presentes nas amostras)

### Porcentagem de Hélio retido

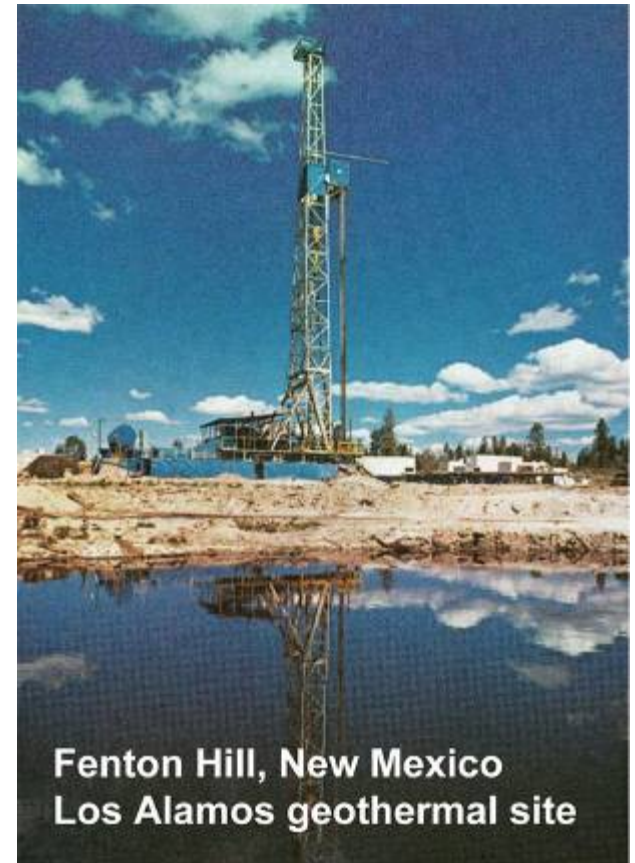
**Amostra 1:58%**

**Amostra 2:27%**

**Amostra 3:17%**

**Amostra 4: 1.2%**

**Amostra 5: 1.0%**



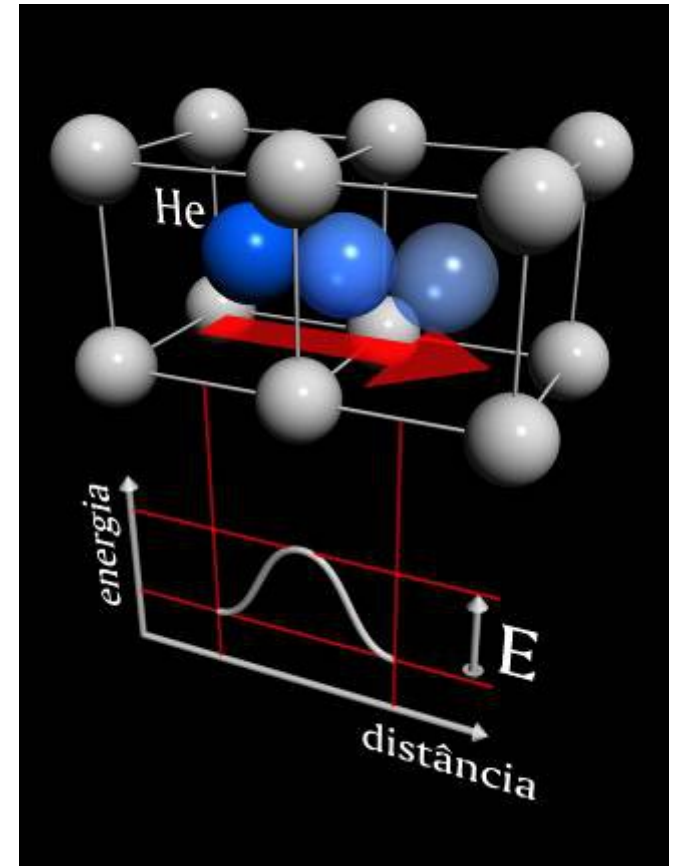
# Processo: Difusão do Hélio

(Migração de átomos de Hélio em cristais de zircão)

## As Forças no Retículo Cristalino

**DIFUSÃO:** Numa alta concentração de He no cristal, os movimentos randômicos espalhariam o He de maneira uniforme através do cristal, até que este escapasse completamente.

E: energia de ativação (energia cinética necessária para transpor a barreira repulsiva)



# Processo: Difusão do Hélio

(Migração de átomos de Hélio em cristais de zircão)

## Equação da Difusão

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$$

variação da concentração em função do tempo

$$D = D_0 \exp \left[ - \frac{E_0}{R T} \right]$$

coeficiente de difusão  
(expresso para altas temperaturas)

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

operador Laplaciano

$E_0$ : energia intrínseca de ativação (40 - 400 kJ/mol)

R: constante universal dos gases (8,314 J/mol•K)

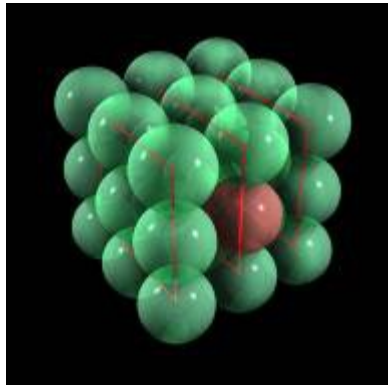
# Processo: Difusão do Hélio

(Migração de átomos de Hélio em cristais de zircão)

**Defeitos no Cristal: Impureza, Deslocamento, etc.**

$$D = D_0 \exp \left[ - \frac{E_0}{R T} \right] + \underbrace{D_1 \exp \left[ - \frac{E_1}{R T} \right]}_{\text{efeito dos defeitos}}$$

efeito dos defeitos



impureza do retículo cristalino

$$E_1 < E_0$$

$$D_1 < D_0$$



# Processo: Difusão do Hélio

(Migração de átomos de Hélio em cristais de zircão)

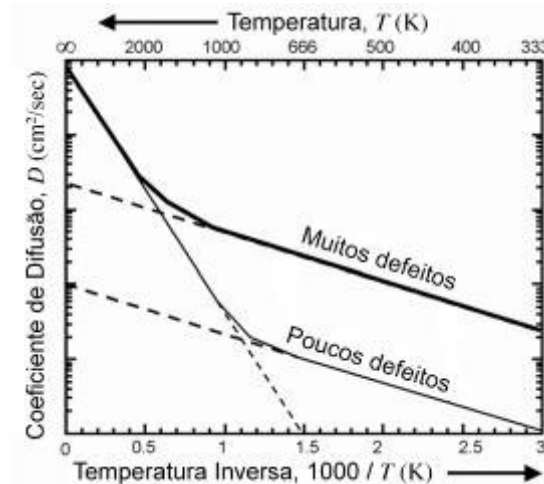
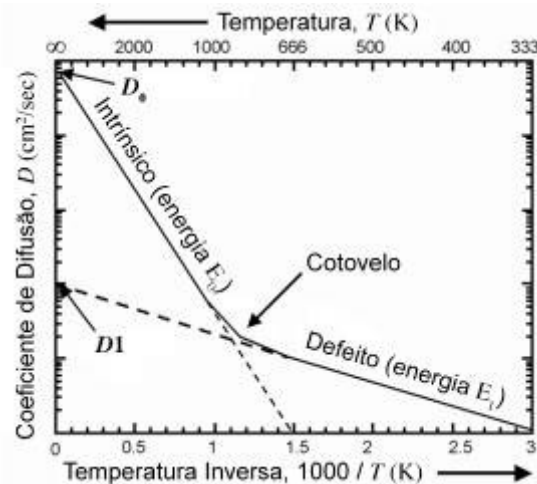
## Coeficientes de Difusão

$$D = D_0 \exp \left[ - \frac{E_0}{R T} \right] + D_1 \exp \left[ - \frac{E_1}{R T} \right]$$

efeito dos defeitos

**quanto mais quente o cristal,  
maior o coeficiente de difusão**

**quanto mais defeitos no cristal  
maior o coeficiente de difusão**



Gráficos de Arrhenius (escala logarítmica)

# Processo: Difusão do Hélio

(Migração de átomos de Hélio em cristais de zircão)

## Coeficientes de Difusão

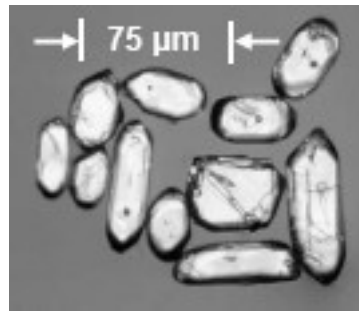
$$D = D_0 \exp \left[ - \frac{E_0}{R T} \right] + \underbrace{D_1 \exp \left[ - \frac{E_1}{R T} \right]}_{\text{efeito dos defeitos}}$$

efeito dos defeitos

## Valores Empíricos dos Coeficientes

para  $T \geq 450^\circ\text{C}$

$$E_0 = 34,4 \pm 0,9 \text{ kJ/mol}$$
$$D_0/a^2 = 3458 \text{ s}^{-1} \left( {}^{+3100}_{-1700} \right)$$



para  $300^\circ\text{C} \leq T \leq 440^\circ\text{C}$

$$E_0 = 29,4 \text{ kJ/mol}$$
$$D_0/a^2 = 64,9 \text{ s}^{-1}$$

$a$ : diâmetro médio dos cristais ( $\pm 30\mu\text{m}$ )

# **Dois Modelos**

---

# **Processo: Difusão do Hélio**

## **MODELO CRIACIONISTA**

- 1. surto rápido de desintegração nuclear acelerada**
- 2. produzindo uma alta concentração ( $C_0$ ) de He**
- 3. distribuição uniforme da concentração de He**
- 4. distribuição uniforme de átomos de U e Th**
- 5. temperaturas permaneceram constantes em relação às temperaturas atuais**

**Num curto espaço de tempo...**

**a quantidade adicional de He produzida pelo processo normal de desintegração seria pequena quando comparada com a quantidade inicial**



# Processo: Difusão do Hélio

## MODELO CRIACIONISTA

**Aproximação da difusão (esférica)...**

**cristais de zircão são encontrados dentro de biotita  
a aproximação da difusão deve incluir os dois me**



Biotita



$$a = \pm 30 \mu\text{m}$$
$$b = \pm 1000 \mu\text{m}$$

$$C(r) = 0, \text{ para } r = b$$

Condições iniciais ( $t=0$ )

$$C(r) = C_0 \text{ para } r < a$$

$$C(r) = 0 \text{ para } r > a$$

# Processo: Difusão do Hélio

## EQUAÇÃO DE DIFUSÃO EM UM SISTEMA RADIAL

**Solução da propagação do calor proposta por  
R.P. Bell em forma simplificada (mesmos  
coeficientes para os dois meios)  
e adaptada à difusão atômica por H.S. Carslaw  
e J.C. Jaeger**

$$C(r, t) = \frac{2 C_0}{r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n \pi} \left[ \frac{b}{n \pi} \sin \frac{n \pi a}{b} - a \cos \frac{n \pi a}{b} \right] \sin \frac{n \pi r}{b} \exp \left[ - n^2 \frac{\pi^2 D t}{b^2} \right]$$

$$Q(t) = 4 \pi \int_0^a C(r, t) r^2 dr$$

$$Q_0 = \frac{4}{3} \pi a^3 C_0$$

$Q(t)$  e  $Q_0$  são as integrais volumétricas de  $C(r, t)$

# Processo: Difusão do Hélio

## PROPORÇÃO DE HÉLIO RETIDA NO ZIRCÃO

$$Q(t) = 4\pi \int_0^a C(r,t) r^2 dr \quad \text{---} \quad Q_0 = \frac{4}{3}\pi a^3 C_0$$

$$\frac{Q(t)}{Q_0} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6b^3}{n^4 \pi^4 a^3} \left[ \sin \frac{n\pi a}{b} - \frac{n\pi a}{b} \cos \frac{n\pi a}{b} \right]^2 \exp \left[ -n^2 \frac{\pi^2 D t}{b^2} \right]$$

### A SOLUÇÃO

$$F(x) = \frac{Q}{Q_0}$$

$$F(x) = \sum_{n=1}^N S_n \exp \left[ -n^2 x \right]$$

onde

$$S_n = \frac{6b^3}{n^4 \pi^4 a^3} \left[ \sin \frac{n\pi a}{b} - \frac{n\pi a}{b} \cos \frac{n\pi a}{b} \right]^2$$

e

$$x = \frac{\pi^2 D t}{b^2}$$

# Processo: Difusão do Hélio

## MODELO CRIACIONISTA

$$F(x) = \frac{Q}{Q_0}$$

$$F(x) = \sum_{n=1}^N S_n \exp[-n^2 x]$$

onde

$$S_n = \frac{6b^3}{n^4 \pi^4 a^3} \left[ \sin \frac{n\pi a}{b} - \frac{n\pi a}{b} \cos \frac{n\pi a}{b} \right]^2$$

e

$$x = \frac{\pi^2 D t}{b^2}$$

### Valores Utilizados Para os Cálculos

$b/a = 33,3$ ;  $N = 300$ ;  $t = 1,892 \times 10^{11}$  segundos

	T (°C)	QQ <sub>0</sub>	x	D (cm <sup>2</sup> /s)	Erro (%)	
<b>1</b>	105	0.58	$5.9973 \times 10^{-4}$	$3.2103 \times 10^{-18}$	+1 22	- 67
<b>2</b>	151	0.27	$2.4612 \times 10^{-3}$	$1.3175 \times 10^{-17}$	+49	- 30
<b>3</b>	197	0.17	$4.0982 \times 10^{-3}$	$2.1937 \times 10^{-17}$	+39	- 24
<b>4</b>	239	0.012	$3.3250 \times 10^{-2}$	$1.7798 \times 10^{-16}$	+33	- 18
<b>5</b>	277	-0 .001	$1.8190 \times 10^{-1}$	$9.7368 \times 10^{-16}$	—	—

Tabela 2 - Valores calculados a partir do modelo criacionista



# Processo: Difusão do Hélio

## MODELO UNIFORMISTA

1. **baixa taxa de desintegração**
2. **taxa de desintegração constante**
3. **ambas constantes por pelo menos 1,5 bilhão de anos**
4. **temperaturas atuais durante o período de formação dos cristais**
5. **concentração em regime permanente (steady-state)**

**Num longo período de tempo...**

**a concentração em regime permanente dependeria somente do raio  $r$  a partir do centro**

$$C(r) = \frac{Q_0}{\frac{4}{3} \pi a^3} \frac{(a^2 - r^2)}{6 D t}$$

$Q_0$  é a quantidade total de He produzida durante o tempo  $t$

$Q_0/t$  é a taxa de produção de He

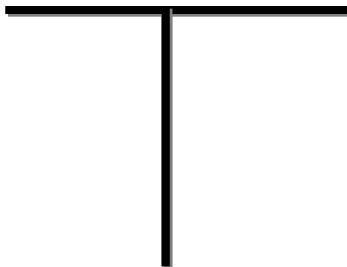
$D$  é o coeficiente de difusão do zircão

# Processo: Difusão do Hélio

## MODELO UNIFORMISTA

$$Q(t) = 4\pi \int_0^a C(r,t) r^2 dr$$

$$C(r) = \frac{Q_0}{\frac{4}{3}\pi a^3} \frac{(a^2 - r^2)}{6Dt}$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{a^2}{15Dt}$$


### Valores Utilizados Para os Cálculos

$a = 30 \mu\text{m}$ ;  $t = 4,73 \times 10^{16}$  segundos

	<b>T (°C)</b>	<b>Q/Q<sub>0</sub></b>	<b>D (cm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Erro (%)</b>	
<b>1</b>	105	0.58	$2.1871 \times 10^{-23}$	+30	-30
<b>2</b>	151	0.27	$4.4981 \times 10^{-23}$	+30	-30
<b>3</b>	197	0.17	$7.4618 \times 10^{-23}$	+30	-30
<b>4</b>	239	0.012	$1.0571 \times 10^{-21}$	+30	-30
<b>5</b>	277	-0.001	$1.2685 \times 10^{-20}$	—	—

Tabela 2 - Valores calculados a partir do modelo uniformista

# Conclusões

---

# Processo: Difusão do Hélio

## COMPARANDO OS DOIS MODELOS

**modelo**  
**CRIACIONISTA**

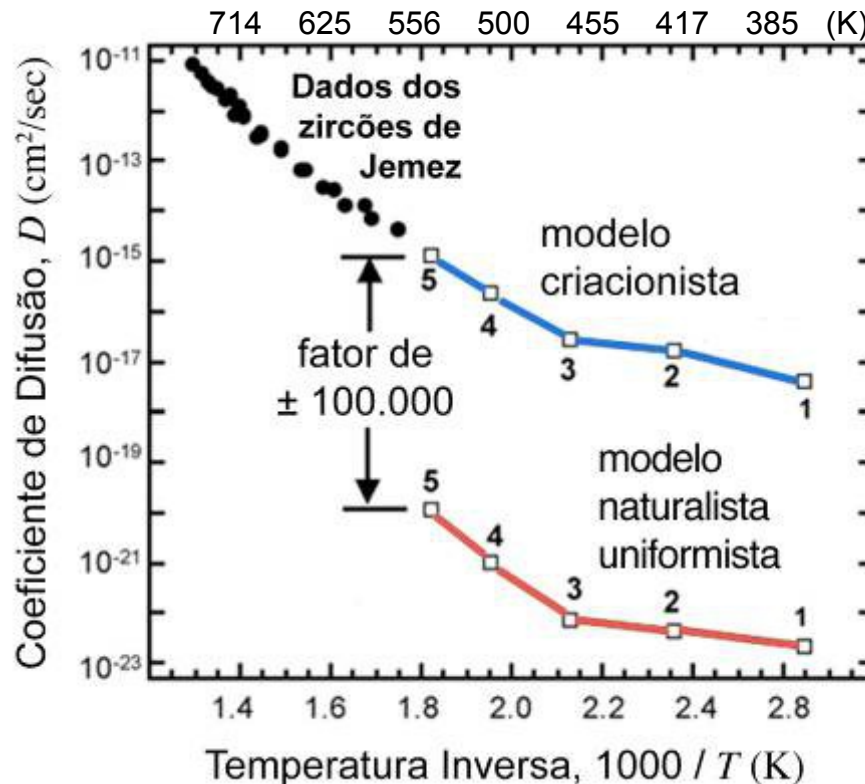
$t = 1,892 \times 10^{11}$  segundos

**6.000 anos**

**modelo**  
**UNIFORMISTA**

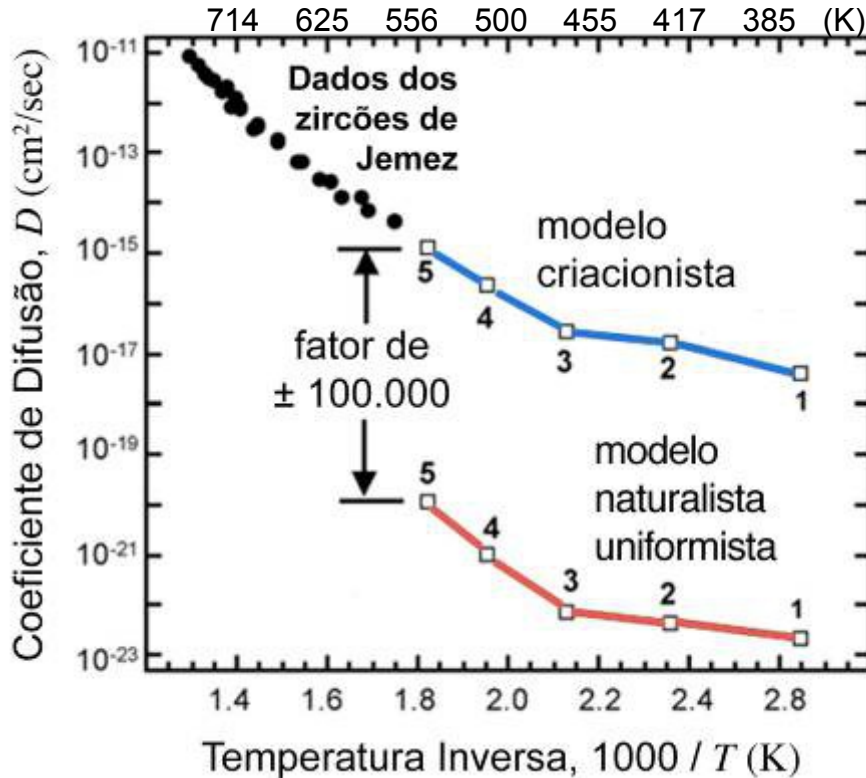
$t = 4,73 \times 10^{16}$  segundos

**1,5 bilhões de anos**



# Processo: Difusão do Hélio

## CONCLUSÕES



usando a equação abaixo para estimar o tempo referente aos pontos 3, 4 e 5

$$x = \frac{\pi^2 D t}{b^2} \Rightarrow t = \frac{b^2 x}{\pi^2 D}$$

$$a/b = 0,03$$

$$D/a^2 = 64,9 \text{ s}^{-1}$$

	<b>x</b>	<b><math>D/b^2</math> (<math>\text{s}^{-1}</math>)</b>	<b>Tempo (anos)</b>	<b>Erro (%)</b>	
<b>3</b>	$4.0982 \times 10^{-3}$	$1.2672 \times 10^{-15}$	10389	+4 050	- 2490
<b>4</b>	$3.3250 \times 10^{-2}$	$1.6738 \times 10^{-14}$	6392	+2 110	- 1150
<b>5</b>	$1.8190 \times 10^{-1}$	$1.2311 \times 10^{-13}$	4747	—	—

Tabela 3 - Tempo calculado para difusão

# Processo: Difusão do Hélio

## CONCLUSÕES

Um período entre

**4.000 - 14.000**

**seria necessário para a difusão do Hélio**

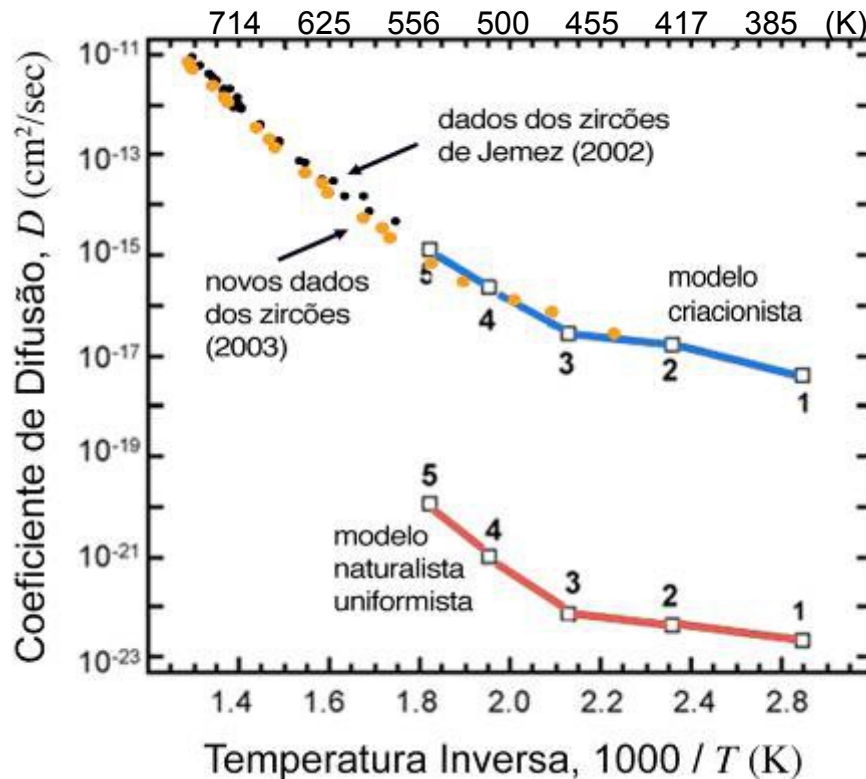
	<b>x</b>	<b>D/l<sup>2</sup> (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Tempo<sub>t</sub> (anos)</b>	<b>Erro (%)</b>	
<b>3</b>	$4.0982 \times 10^{-3}$	$1.2672 \times 10^{-15}$	10389	+4 050	- 2490
<b>4</b>	$3.3250 \times 10^{-2}$	$1.6738 \times 10^{-14}$	6392	+2 110	- 1150
<b>5</b>	$1.8190 \times 10^{-1}$	$1.2311 \times 10^{-13}$	4747	—	—

Tabela 3 - Tempo calculado para difusão



# Processo: Difusão do Hélio

## NOVOS DADOS AVALIADOS PELA DIVISION OF GEOLOGICAL AND PLANETARY SCIENCES



usando a equação abaixo para estimar o tempo referente aos pontos 2, 3, 4 e 5

$$x = \frac{\pi^2 D t}{b^2} \Rightarrow t = \frac{b^2 x}{\pi^2 D}$$

$$a/b = 0,03$$

$$D/a^2 = 64,9 \text{ s}^{-1}$$

	T (°C)	Q/Q <sub>0</sub>	He %	D (cm <sup>2</sup> /s)	Idade
1	105	0.58	58	—	
2	151	0.27	27	$1.09 \times 10^{-17}$	7270
3	197	0.17	17	$5.49 \times 10^{-17}$	2400
4	239	0.012	1.2	$1.87 \times 10^{-16}$	5730
5	277	- 0 .001	0.1	$7.97 \times 10^{-16}$	7330

Tabela 4 - Tempo calculado para difusão

# Processo: Difusão do Hélio

## CONCLUSÕES

**Um período entre**

**5.680 anos  $\pm$  2.000 anos**

**seria necessário para a difusão do Hélio**

	T (°C)	Q/Q <sub>o</sub>	He %	D (cm <sup>2</sup> /s)	Idade
1	105	0.58	58	—	
2	151	0.27	27	$1.09 \times 10^{-17}$	7270
3	197	0.17	17	$5.49 \times 10^{-17}$	2400
4	239	0.012	1.2	$1.87 \times 10^{-16}$	5730
5	277	- 0 .001	0.1	$7.97 \times 10^{-16}$	7330

Tabela 4 - Tempo calculado para difusão

# Processo: Difusão do Hélio

## Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> M. A. Cook, "Where is the earth's radiogenic Helium?", *Nature*, 179:213, 1957.
- <sup>2</sup> L. Vardiman, *The Age of the Earth's Atmosphere: A Study of Helium Flux through the Atmosphere*, Institute for Creation Research, El Cajon, CA 92021, p. 28, 1990.
- <sup>3</sup> R. E. Zartman, "Uranium, thorium, and lead isotopic composition of biotite granodiorite (Sample 9577-2b) from LASL Drill Hole GT-2." *Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-7923-MS*, 1979.
- <sup>4</sup> R. V. Gentry, G. J. Glish, e E. H. McBay, "Differential helium retention in zircons: implications for nuclear waste management," *Geophysical Research Letters* 9(10): 1129-1130, October, 1982.
- <sup>5</sup> D. R. Humphreys, S. A. Austin, J. R. Baumgardner, e A. A. Snelling, "Helium Diffusion Rates Support Accelerated Nuclear Decay", *Creation Research Society Quarterly Journal*, Vol. 41, nº 1, 2004.
- <sup>6</sup> R. P. Bell, "A Problem of Heat Conduction with Spherical Symmetry", *Proceedings of the Physical Society* (London), 57:45-48, 1945.
- <sup>7</sup> H. S. Carslaw e J. C. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, 2<sup>nd</sup> edition, Clarendon Press, Oxford, 1959, p. 236, eq. 19).
- <sup>8</sup> J. Crank, *The Mathematics of Diffusion*, 2<sup>nd</sup> edition, Oxford University Press, Oxford, 1975, p. 8, eq. 1.21.
- <sup>9</sup> C. D. Kolstad e T. R. McGetchin, "Thermal evolution models for the Valles Caldera with reference to a hot-dry-rock geothermal experiment," *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 3:197-218, 1978.
- <sup>10</sup> T. M. Harrison, P. Morgan e D. D. Blackwell, "Constraints on the age of heating at the Fenton Hill site, Valles Caldera, New Mexico," *Journal of Geophysical Research*, 91(B2):1899-1908, February 10, 1986.
- <sup>11</sup> M. Sakada, "Fluid inclusion evidence for recent temperature increases at Fenton Hill hot dry rock test site west of the Valles Caldera, New Mexico, U.S.A.," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 36:257-266, 1989.