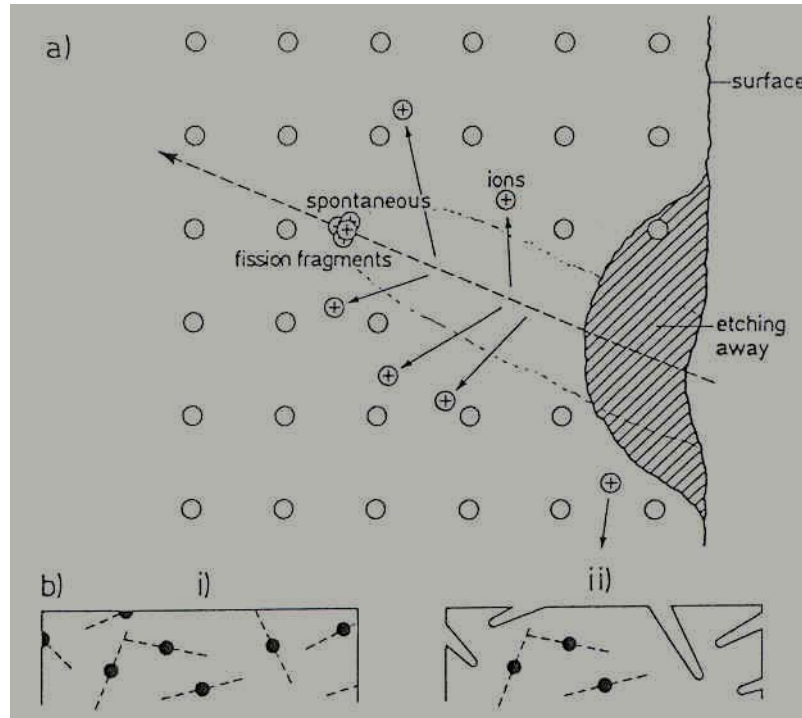


# **Određivanje starosti metodom «fisionih tragova»**

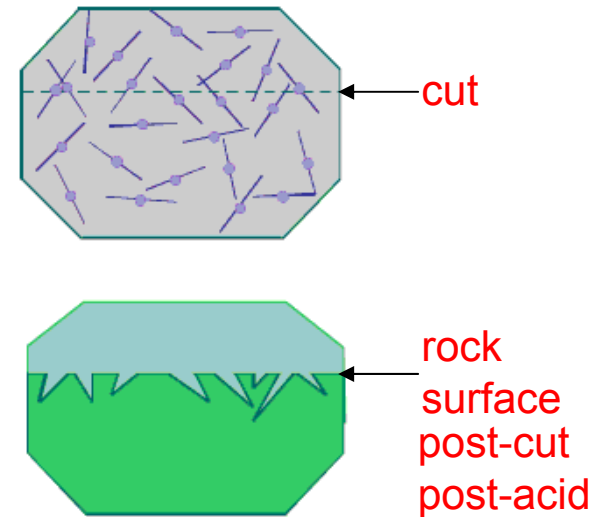
**Fission-track dating**



# Fisioni tragovi u mineralima



a) Fisioni tragovi u mineralu nastali prirodnom radioaktivnim raspadom  $^{238}\text{U}$ ; b) prije jetkanja; c) poslije jetkanja



0 20μm

## Fisioni tragovi u mineralima

Silk & Barnes (1959): otkrivaju tragove u kristalima stvorenim pozitivnim ionima, produktima radioaktivnog raspada  $^{238}\text{U}$ , vidljivim u elektronskom mikroskopu, 50 000x pov.)

Price & Walker (1962): Učinili su trag vidljivim u običnom mikroskopu jetkanjem minerala tinjca.

**Gustoća tragova po jedinici površine može poslužiti kao mjera starosti minerala**

Pogodni minerali: biotit, flogopit, muskovit, lepidolit, cirkon, apatit, sfen, zatim vulkanska stakla, tektiti, itd.

Raspon mjerenja vremena: Arhaik→Arheologija

# Metodologija

**Priprema:** Sediment (na pr. pješčenjak) drobi se do veličine zrna (100-200 $\mu$ m), separacija teškim tekućinama, glačanje do visokog sjaja, fiksiranje epoksi smolom ili kanadabalzomom na mikroskopskim stakalcima (apatit se ne smije grijati!)

Table 15.1 Typical Etching Procedures for Selected Minerals and Volcanic Glass

MINERAL	ETCHING SOLUTION	T°C	DURATION	REFERENCE
Apatite	conc. HNO <sub>3</sub>	25	10–30 sec	1
	5% HNO <sub>3</sub>	20	45 sec	2
Sphene	conc HCl	90	30–90 min	1
	1 HF:2HCl:3HNO <sub>3</sub> :6H <sub>2</sub> O	20	6 min	3
Zircon	100N NaOH	270	1.25 hr	3
Muscovite	HF (48%)	20	20 min	3
Epidote	6gNaOH + 4 ml H <sub>2</sub> O (37.5 N NaOH)	159	150 min	4
Volc. glass	HF (24%)	25	60 sec	5

1. Naeser, 1967
2. Wagner and Reimer, 1972
3. Gleadow and Lovering, 1974
4. Bar et al., 1974
5. Lakatos and Miller, 1972

Etching procedures and track-counting methods have also been discussed by Lal et al. (1968) and Burchart et al. (1975).

**Brojanje tragova:** (mikroskop, povećanje 800 do 1800 x).

# Metodologija

*Broj tragova po jedinici površini je funkcija vremena i koncentracije urana.*

**Koncentracija urana:** mjeri se brojanjem tragova nastalih fisijom  $^{235}\text{U}$ , induciranim termalnim neutronima. Prvo se izvodi brisanje svih tragova grijanjem (annealing) uzorka. Radijacijom uzorka u nuklearnom reaktoru proizvode se novi tragovi, koji se broje nakon poliranja i jetkanja.

Minerali gube tragove nakon grijanja. Brojanje tragova je često «starost hlađenja» (cooling age) a ne starost minerala (o tome poslije!).

Neutronska doza se precizno mjeri (broj neutrona  $\times \text{cm}^{-2} \times \text{sec}$ ) na standardu monitoru (staklo s poznatom koncentracijom urana).

Table 15.2 Annealing Temperatures Resulting in Complete Loss of Tracks in One Hour at One Atmosphere Pressure (Adapted from McCorkell, 1974)

SUBSTANCE	TEMPERATURE °C	SUBSTANCE	TEMPERATURE °C
Quartz	1050	Whitlockite	584
Diopside	885	Pigeonite	525 ± 25
Albite	775	Olivine	509
Epidote	715	Hypersthene	475 ± 25
Zircon	700 ± 25	Phlogopite	450
Garnet <sup>a</sup>	685	Enstatite	450
Pollucite	670	Apatite	340
Hornblende	630	Calcite	320 ± 25
Muscovite	680	Tektites	500
Sphene	620	Basalt glass	300

<sup>a</sup> Haack and Potts (1972).

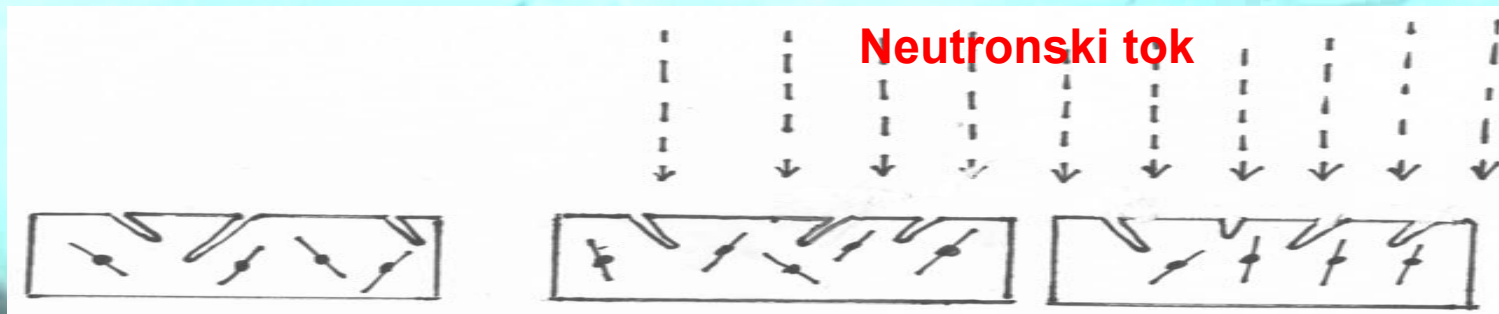
# Metodologija

## Uvjeti da bi se metoda mogla primijeniti:

- Koncentracija urana dovoljnja da se proizvede 10 tragova/cm<sup>2</sup>
- Dobro polirani uzorak bez tragova stranog podrijetla
- Distribucija urana u uzorku uniformna
- Tragovi nesmiju nestajati na sobnoj temperaturi

## Redoslijed rada:

1. Brojanje prirodnih tragova nastalih fisijom <sup>238</sup>U, u *prvom preparatu* uzorka
2. Brisanje starih i induciranje novih tragova fisijom <sup>235</sup>U (termalnim neutronima) u *drugom preparatu* istog uzorka i u *standardu monitoru*.



isti uzorak

prirodni tragovi <sup>238</sup>U  
pojačani jetkanjem

tragovi <sup>235</sup>U od termalnih  
neutrona pojačani jetkanjem  
(utvrđivanje konc. urana)

Monitor toka neutrona  
s poznatom koncentracijom  
urana i starošću **t**

# Izvod “jednadžbe starosti”

$^{238}\text{U}$  glavni proizvođač tragova u mineralu ( $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  zanemarivi, Price & Walker, 1963).

$$D = ^{238}\text{U} (e^{\lambda\alpha} - 1) \quad D = \text{broj radioakt. raspada/cm}^3$$

$$F_s = (\lambda_f/\lambda_\alpha) ^{238}\text{U} (e^{\lambda\alpha} - 1) \quad \lambda_\alpha = \text{konst. radioakt. raspada } (\alpha\text{-raspad}), 1.55125 \times 10^{-10}\text{y}^{-1}$$

$$8.46 \times 10^{-17}\text{y}^{-1} \quad \lambda_f = \text{konst. radioakt. raspada } (\beta\text{-raspad}),$$

$$\rho_s = F_s q = (\lambda_f/\lambda_\alpha) ^{238}\text{U} (e^{\lambda\alpha} - 1) q \quad F_s = \text{broj radiakt. Raspada koji proizvode tragove}$$

$$\rho_s = \text{broj tragova na spec. površini}$$

$$q = \text{dio tragova zahvaćen jedkanjem}$$

$$F_i = \text{broj tragova induciran termalnim neutronima}$$

$$F_i = ^{235}\text{U} \varphi \sigma \quad \varphi = \text{neutronska doza } \times \text{cm}^{-2} \times \text{sec}$$

$$\rho_i = F_i q = ^{235}\text{U} \varphi \sigma q \quad \sigma = \text{presjek za termalnu radijaciju}, 582 \times 10^{-24} \text{cm}^2$$

$$\rho_i = \text{broj tragova induciranih}$$

$$\rho_s/\rho_i = (\lambda_f/\lambda_\alpha) I (e^{\lambda\alpha} - 1)/ \varphi \sigma$$

# Izvod "jednadžbe starosti"

$$t = 1/\lambda_{\alpha} \ln [1 + (\rho_s/\rho_i) (\lambda_f/\lambda_{\alpha}) \varphi \sigma/I] \quad \text{"jednadžba starosti"}$$

$$\lambda_{\alpha} = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$$

$$\lambda_f = 8.46 \times 10^{-17} \text{ y}^{-1}$$

$$\sigma = 582 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$$

$$I = {}^{238}\text{U}/{}^{235}\text{U} = 137.8$$

$$t = 6.446 \times 10^9 \ln [1 + 7,744 \times 10^{-18} (\rho_s/\rho_i) \varphi]$$

uz malu aproksimaciju jednadžba se pojednostavljuje uz grešku od 4% za  $t = 500$  ma i 0.7% za  $t = 100$ ma

$$t = 4.992 \times 10^{-8} \varphi (\rho_s/\rho_i)$$

$\varphi = 2.00 \times 10^7 t$     neutronska doza koja zadovoljava najpovoljniji odnos  $\rho_s/\rho_i = 1$

# Brisanje tragova (annealing)

Brisanje tragova je posljedica starenja (vrijeme) i temperature

Brisanje tragova izazivaju također udarni šokovi (20 – 400 kb), ionske otopine, postotak vode u vulkanskim staklima.

## Brisanje tragova nakon 1 sata i 1atm pritiska

t = vrijeme nestajanja tragova (annealing)

$$t = A e^{U/kT}$$

U = aktivaciona energija, eV ili kcal/mol

k = Boltzmanova konstanta,  $8.6171 \times 10^{-5} \text{eV/K}$

T = apsolutna temperatura u K

e = baza prirodnog logaritma

A = konstanta za određ. mineral

$$\log t = \log A + U/2.303kT, \quad y = a + bx,$$

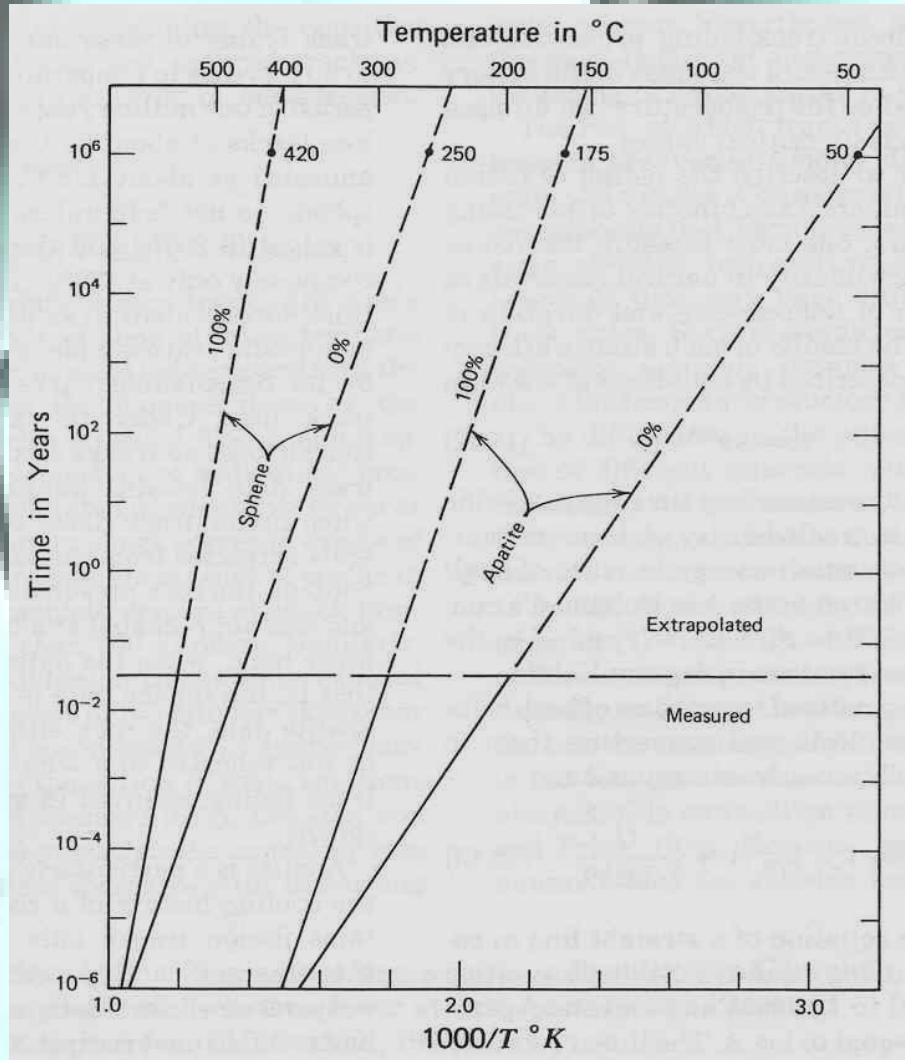
$$y = \log t$$

$$a = \log A$$

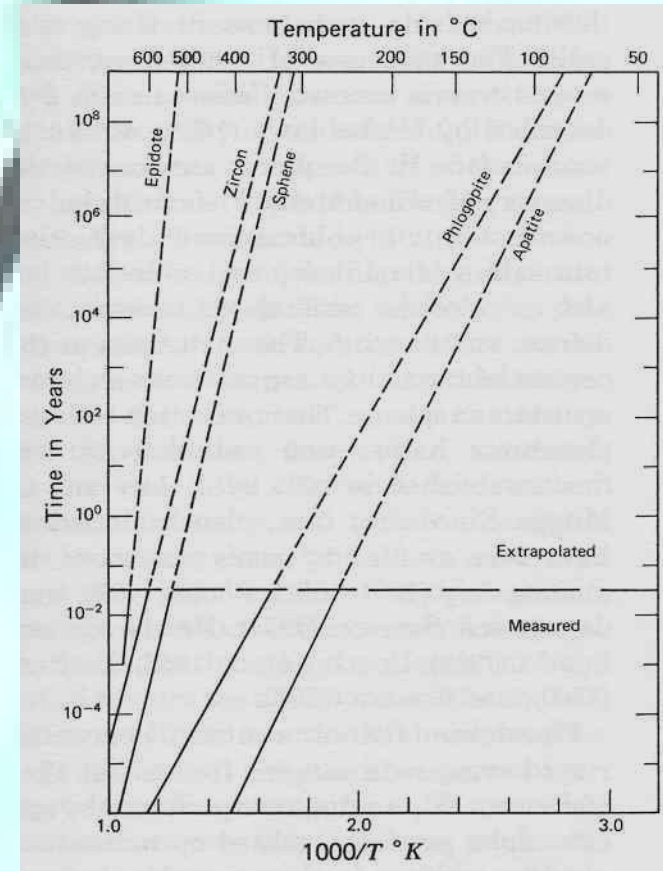
$$b = U/2.303k$$

$$x = 1/T$$

# Nestajanje tragova kao funkcija vremena i temperature



Nestajanje tragova u apatitu i sfenu kao funkcija vremena i temperature



Nestajanje 50 % tragova kao funkcija vremena i temperature; Apatit zadržava tragove ispod  $125^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ , (cirkon oko  $320^{\circ}\text{C}$ , praktično se uzima oko  $175^{\circ}\text{C}$ )