

Metoda fizionih tragova

Kada nabijene čestice putuju kroz krutinu izazivaju u njoj oštećenje tj. ostavljaju u krutini trag. To je posljedica prijelaza energije iz nabijene čestice na atome krutine. Takvi tragovi vidljivi su pod velikim mikroskopskim povećanjima, a mogu se učiniti još vidljivijima ako se uzorak jetka (nagrizi odgovarajućim otapalom). Tragovi reda veličine $10\mu\text{m}$ nastaju raspadom urana budući da je masa urana velika te da se pri takvom procesu oslobađa velika energija ($\sim 200\text{MeV}$).

Fizioni tragovi u mineralima uglavnom su posljedica raspada ^{238}U i njihova gustoća može poslužiti kao mjera starosti minerala.

Danas je metoda fizionih tragova u širokoj primjeni u datiranju širokog spektra minerala te prirodnih i sintetskih stakala. Metoda je korisna i za određivanje termalne povijesti uzorka budući da je očuvanje tragova u uzorku ovisno o temperaturi tj. različiti minerali gube tragove na različitim temperaturama.

Potrebno je iz stijenskog uzorka izdvojiti pojedine minerale koji se zatim poliraju do visokog sjaja (ukoliko su zrna sitna fiksiraju se na stakalce epoksi smolom) te se jetkaju odgovarajućim otapalom (vidi Tabl. 15.1). Nakon jetkanja površina minerala se promatra pod mikroskopskim povećanjem od $800\text{--}1800\times$ te se broje fizioni tragovi na određenoj površini. Brojanje je problematično kada je broj tragova manji od $10/\text{cm}^2$. Broj tragova funkcija je starosti minerala i koncentracije urana u tom mineralu.

Koncentracija U može se mjeriti brojanjem tragova nastalih zbog induciranog raspada ^{235}U . Takav raspad umjetno se izaziva tijekom zračenja uzorka termalnim neutronima u nuklearnom reaktoru. Najčešće se to obavlja na sljedeći način: u analiziranom uzorku se zagrijavanjem brišu prirodni tragovi. Nakon toga uzorak se izlaže djelovanju termalnih neutrona u nuklearnom reaktoru. Pri tome nastaju fizioni tragovi nastali raspadom ^{235}U . Nakon zračenja uzorak se polira i jetka te se na njemu broje novonastali tragovi. Gustoća tragova posljedica je koncentracije urana i neutronske doze kojoj je uzorak bio izložen (gustoća neutronske doze \times vrijeme zračenja). Neutronska doza određuje se na monitoru (npr. staklo s poznatom koncentracijom urana).

Glavna pogreška u datiranju ovom metodom javlja se kao posljedica brisanja tragova na povišenim temperaturama. Zbog toga starost koju dobijemo na ovaj način ispravnije je nazivati «starošću hlađenja» nego starošću kristalizacije minerala. Dodatni izvor pogreške može biti nejednolika distribucija urana u uzorku.

Preduvjeti koje mora zadovoljavati uzorak da bi bio datiran ovom metodom su: (1) koncentracija urana u uzorku mora biti dovoljna da je proizvedeno više od 10 tragova/ cm^2 od vremena hlađenja uzorka; (2) tragovi moraju biti stabilni na uobičajnoj temperaturi na kojoj se uzorak nalazio od vremena hlađenja; (3) uzorak mora biti «čist» od inkluzija i defekata kako bi se fizioni tragovi mogli uočavati i (4) razdioba U u uzorku mora biti ujednačena.

Nekolicina prirodnih izotopa viskog atomskog broja raspadaju se prirodnim putem i ostavljaju fizione tragove u mineralima i staklu. Price /&Walker (1963) uočili su da je glavna tragova posljedica raspada ^{238}U . Tragovi nastali raspadom ^{235}U i ^{232}Th su zanemarivi. Također je uočeno da je inducirani raspad ^{235}U zbog apsorpcije neutrona nastalih raspadom ^{238}U neznačajan (osim u uranskim mineralima).

Ako pretpostavimo da mineralno zrno ili čestica stakla ima ^{238}U atoma raspodijeljenih u svom volumenu tada je ukupan broj raspada ^{238}U u danom volumenu i vremenu t :

$$D = {}^{238}\text{U} (e^{\lambda\alpha} - 1)$$

gdje je D - broj raspada po cm^3 uzorka
 ${}^{238}\text{U}$ - broj atoma ${}^{238}\text{U}$ po cm^3 uzorka danas
 λ_α - konstanta α -raspada ${}^{238}\text{U}$ ($1,55125 \times 10^{-10}$ god $^{-1}$)

Udio ${}^{238}\text{U}$ raspada koji ostavljaju fizione tragove dan je izrazom:

$$F_s = (\lambda_f/\lambda_\alpha) {}^{238}\text{U} (e^{\lambda_\alpha t} - 1)$$

λ_f - konstanta β -raspada ${}^{238}\text{U}$ ($8,46 \times 10^{-17}$ god⁻¹)

Određeni dio tragova (q) nalazi se na površini uzorka i te tragove brojimo. Gustoća tragova na površini je:

$$\rho_s = F_s q = (\lambda_f/\lambda_\alpha) {}^{238}\text{U} (e^{\lambda_\alpha t} - 1) q$$

Broj induciranih tragova nastalih raspadom ${}^{235}\text{U}$ (F_i) je:

$$F_i = {}^{235}\text{U} \varphi \sigma$$

gdje je ${}^{235}\text{U}$ – broj atoma ${}^{238}\text{U}$ po cm^3 uzorka danas

φ - doza termalnih neutrona (neutron/ cm^2)

σ - presjek za termalnu radijaciju, 582×10^{-24} cm^2

Udio induciranih rtagova koji će se na površini brojati nakon jetkanja također je q , tj. gustoća induciranih tragova dana je izrazom:

$$\rho_i = F_i q = {}^{235}\text{U} \varphi \sigma q$$

Omjer q_s/q_i je:

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

gdje je I - atomski omjer ${}^{238}\text{U}/{}^{235}\text{U}$.

Ukoliko iz gore navedene jednadžbe izrazimo vrijeme dobijemo «**jednadžbu starosti**»:

$$t = 1/\lambda_\alpha \ln [1 + (\rho_s/\rho_i) (\lambda_f/\lambda_\alpha) \varphi \sigma / I]$$

Uvrštavajući slijedeće veličine u jednadžbu:

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

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

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

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

dobijemo:

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

Za uzorke mlađe od 500×10^6 god možemo aproksimirati da je $(e^{\lambda t} - 1) \sim e^{\lambda t}$ te je u tom slučaju:

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

(greška od 4% za $t=500 \times 10^6$ god i 0.7% za $t=100 \times 10^6$ god).

Za većinu minerala fizioni tragovi stabilni su na sobnoj temperaturi duže vrijeme. Na povišenim temperaturama tragovi nestaju. Osim temperature na brisanje tragova utječu i udarni šokovi (20 – 400 kb), ionske otopine te postotak vode u vulkanskim staklima.

Temperatura brisanja tragova različita je za različite minerale. Usporedba fizionih tragova u dva različita minerala iz iste stijene dobar je pokazatelj termalne povijesti uzorka. Tabl. 15.2 daje podatke za temperature potpunog brisanja tragova. Npr. Kvarc koji je 1 sat izložen temperaturi od 1050°C (pri $p=1$ atm) izgubit će sve tragove.

Gubitak tragova kao funkcija porasta temperature i trajanja zagrijavanja:

t = vrijeme nestajanja tragova (annealing)

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

U = aktivaciona energija, eV ili kcal/mol

k = Boltzmanova konstanta, 8.6171×10^{-5} eV/K

T = apsolutna temperatura u K

e = baza prirodnog logaritma

A = konstanta za određ. mineral

Logaritmiranjem gornje jednačbe dobijemo linearnu relaciju:

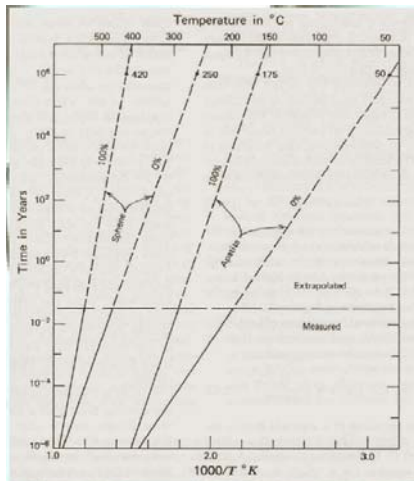
$$\log t = \log A + U/2.303kT, \quad y = a + bx,$$

$$y = \log t$$

$$a = \log A$$

$$b = U/2.303k$$

$$x = 1/T$$

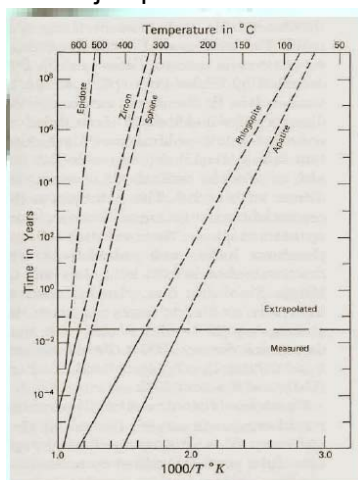


Sfen i apatit gube tragove različitim brzinama. Za period od 1×10^6 god apatit će početi gubiti tragove na 50°C , a potpuno će se resetirati na 175°C . Sfen će početi gubiti tragove na 250°C , a svi će se tragovi izgubiti na 420°C .

Kada su nam podatci iz 2 različita minerala konkordantni to znači da je stijena hlađena brzo te da naknadno nije bila zagrijavana.

Kada su nam podatci iz 2 različita minerala diskordantni (sfen stariji od apatita) to znači da je stijena hlađena sporo ili da je zagrijavana naknadno na temperaturu koja je izazvala brisanje tragova u apatitu, ali ne i u sfenu.

Apatit je osobito dobar indikator povijesti hlađenja stijene budući da zadržava tragove na temperaturama koje su znatno niže od temperatura blokiranja za Rb/Sr i K/Ar u kogenetskim tinjcima. Točna temperatura na kojoj apatit zadržava sve tragove (0% gubitka) zavisi o brzini hlađenja. Kada je hlađenje brzo tragovi se zadržavaju na višoj temperaturi nego kada je hlađenje sporo.



Uvjeti gubitka 50% tragova u nekim mineralima. Ove linije pokazuju vrijeme koje je proteklo od kada je mineral ohlađen na temperaturu ispod koje zadržava 50% tragova. Vidi se da se u epidotu «sat» aktivira na najvišoj temperaturi te da se tragovi poništavaju na najvišim temperaturama tijekom naknadnih termalnih događaja.