

## K/Ar metoda datiranja

**Kalij** pripada alkalnoj grupi elemenata (IA grupa) zajedno s Li, Na, Rb, Cs i Fr. Jedan je od 8 najrasprostranjenijih elemenata u Zemljinoj kori te jedan od najvažnijih elemenata koji ulaze u sastav minerala koji tvore stijene (tinjci, feldspati, feldspatoidi, minerali glina itd).

Kalij ima 3 izotopa ( $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  i  $^{41}\text{K}$ ).

$^{40}\text{K}$  radioaktivnim raspadima daje  $^{40}\text{Ar}$  i  $^{40}\text{Ca}$ .

$^{40}\text{Ca}$  nije koristan u datiranju budući da je to najučestaliji izotop Ca u prirodi te se njegova koncentracija zbog raspada K tek neznatno povećava.

Radioaktivni raspad K u stabilni  $^{40}\text{Ar}$  događa se elektronskim zahvaćanjem („electron capture“) i emitiranjem pozitrona.

- 11% atoma  $^{40}\text{K}$  raspada se elektronskim zahvaćanjem u pobuđeni  $^{40}\text{Ar}$  koji emitiranjem  $\gamma$ -zraka prelazi u osnovno stanje
- 0,16% atoma  $^{40}\text{K}$  raspada se elektronskim zahvaćanjem direktno u  $^{40}\text{Ar}$  koji je u osnovnom stanju
- 0,001% atoma  $^{40}\text{K}$  raspada se pozitronskim raspadom u  $^{40}\text{Ar}$
- 88,8% atoma  $^{40}\text{K}$  raspada se na  $^{40}\text{Ca}$

Jednadžba koja opisuje raspad K na Ar i Ca glasi:

$$^{40}\text{Ar}^* + ^{40}\text{Ca}^* = ^{40}\text{K}(e^{\lambda t} - 1)$$

gdje je  $\lambda$  ukupna konstanta raspada ( $\lambda = \lambda_e + \lambda_\beta$ ).  $\lambda_e$  odnosi se na raspad elektronskim zahvaćanjem tj. raspad u  $^{40}\text{Ar}$ , a  $\lambda_\beta$  na  $\beta$ -raspad tj. raspad u  $^{40}\text{Ca}$ .

$$\lambda_e = 0,585 \times 10^{-10} \text{ god}^{-1}$$

$$\lambda_\beta = 4,72 \times 10^{-10} \text{ god}^{-1}$$

$$\lambda = \lambda_e + \lambda_\beta = 0,585 \times 10^{-10} \text{ god}^{-1} + 4,72 \times 10^{-10} \text{ god}^{-1} = 5,305 \times 10^{-10} \text{ god}^{-1}$$

Udio K koji raspadom daje Ar dobije se iz omjera  $\lambda_e/\lambda$  te porast  $^{40}\text{Ar}$  zbog raspada  $^{40}\text{K}$  dana je izrazom:

$$^{40}\text{Ar}^* = (\lambda_e/\lambda) \times ^{40}\text{K}(e^{\lambda t} - 1)$$

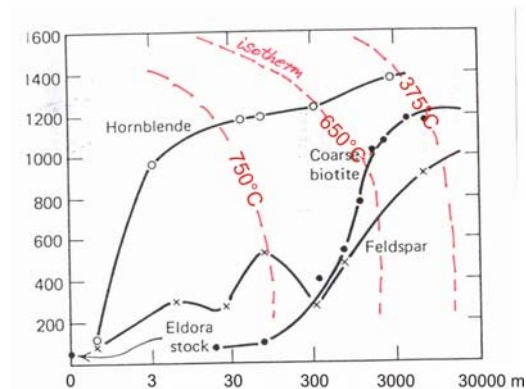
Ukupan broj  $^{40}\text{Ar}$  atoma dan je zbrojem  $^{40}\text{Ar}_0$  (broj  $^{40}\text{Ar}$  atoma u mineralu ili stijeni u trenutku kristalizacije) i  $^{40}\text{Ar}^*$  (broj  $^{40}\text{Ar}$  atoma nastalih radioaktivnim raspadom K). Kada pretpostavimo da je  $^{40}\text{Ar}_0 = 0$  tada  $^{40}\text{Ar}^* = (\lambda_e/\lambda) \times ^{40}\text{K}(e^{\lambda t} - 1)$  postaje jednadžba K/Ar starosti uzorka te je možemo napisati u obliku:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{40}\text{K}} \left( \frac{\lambda}{\lambda_e} \right) + 1 \right]$$

Vrijednost  $t$  odgovara starosti minerala samo kada:

- radiogeni  $^{40}\text{Ar}$  nastao raspadom K nije napustio mineral od trenutka kristalizacije
- mineral je postao zatvoren sustav za  $^{40}\text{Ar}$  neposredno nakon svog nastanka tj. hlađenje minerala bilo je brzo
- nije bilo unosa  $^{40}\text{Ar}$  u mineral osim radioaktivnim raspadom K
- napravljena je korekcija za atmosferski  $^{40}\text{Ar}$
- mineral je zatvoren sustav za K
- izotopni sastav K u mineralu je normalan te nije izmjenjen frakcionacijom ili nekim drugim procesom osim radioaktivnog raspada  $^{40}\text{K}$
- konstanta raspada  $^{40}\text{K}$  je poznata i nije narušena zbog nekih kem. ili fiz. uvjeta

Da bi se odredila starost K-minerala K/Ar metodom moramo mjeriti koncentracije K i  $^{40}\text{Ar}$ . Koncentracija K najčešće se određuje metodom atomske apsorpcije, plamene fotometrije, izotopnog razrjeđenja ili neutronske aktivacije. Udio  $^{40}\text{Ar}$  uglavnom se određuje metodom izotopnog razrjeđenja (uzorku se dodaje poznata količina  $^{38}\text{Ar}$ ). Na masenom spektrometru mjere se odnosi  $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$  i  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ . Omjer  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  koristi se za korekciju prisutnosti atmosferskog argona čiji je izotopni sastav poznat. Udio radiogenog  $^{40}\text{Ar}$  računa se iz izmjenjenog  $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$  budući da je količina  $^{38}\text{Ar}$  poznata.



Primjer gubitka Ar zbog porasta temperature u kontaktu s metamornom zonom (**Kristal prestaje biti sposoban zadržavati radiogeni Ar nastao raspadom K u svojoj rešetci. Posljedica je smanjenje starosti minerala**). Datirani su hornblenda, biotit i K-feldspati u gnajsevima Idaho Spring formacije u Front Rangeu u Coloradu (starost 1350 do 1400 mil.god., regionalni metamorfizam). Eldora intruzivna, granitska doma je stara 55 mil.god. Biotit je izgubio sav Ar na udaljenosti od 100 stopa od kontakta s granitskom domom. K/Ar starost biotita ostaje očuvana na udaljenosti od 14.000 stopa od kontakta.

Na K-feldspatima starost je narušena i na udaljenosti od 22.500 stopa od kontakta. S druge strane hornblenda dobro zadržava Ar, na udaljenosti od 100 stopa postignut je plato od 1200 miliona godina, a na udaljenosti od 14.000 stopa starost je 1375 miliona godina.

*Neke temperature blokiranja: Hornblenda 650 °C; Biotit 375 °C; K-feldspat 230 °C; Plagioklas 175 °C.*

Na uzorcima biotita iz Idaho Spring formacije vršena su i datiranja Rb-Sr metodom te su dobivene nešto veće starosti. Zaključak je da biotit bolje zadržava  $^{87}\text{Sr}$  u svojoj rešetki nego Ar.

Dakle, da bi mjerenja K/Ar metodom bila korisna mineral mora zadržavati Ar kvantitativno, mora biti otporan na kemijska trošenja te mora sadržavati K iako nije nužno da je K glavni element u tom mineralu.

Mjerenja se mogu raditi i na cijelostijenskim uzorcima („Whole-rock samples“).

U nekim K-mineralima javlja se usvojeni („excess“) Ar. Datiranje na takvim uzorcima daje veću starost od stvarne. Općenito, minerali koji su bili izloženi visokom parcijalnom tlaku Ar tijekom regionalnog metamorfizma, kristalizacije pegmatita ili nastanka kimberlita imaju „excess Ar“ (beril, kordijerit i turmalin).

Prva sistematska određivanja izmjene Zemljinih magnetskih polova vršena su K/Ar metodom. Vine & Mathews (1963) predložili su da se linearne magnetske anomalije duž srednjooceanskih hrptova mogu objasniti širenjem oceanskog dna i periodičkim izmjenama Zemljinih magnetskih polova. *Epohe* su razdoblja u kojima dominira jedna orijentacija magnetskih polova. Takve epohe prekinute su *događajima* („event“) suprotne orijentacije polova. Razlika između epohe i događaja je prvenstveno u duljini trajanja.

**Metamorfni veo.** U vulkanskim stijinama i plitkim intruzijama koje se brzo hlade K-minerali zadržavaju radiogeni Ar neposredno nakon kristalizacije. S druge strane, u duboko smještenim plutonima i metamorfnim stijinama koje se sporo hlade, minerali zadržavaju Ar s zakašnjenjem tj. Tek od trenutka kada se temperatura spustila ispod **temperature blokiranja** za taj mineral. Temperatura blokiranja se definira kao temperatura na kojoj gubitak Ar difuzijom postaje zanemariv u usporedbi s Ar koji se zadržava u mineralu zbog radioaktivnog raspada kalija. Dakle, K/Ar starost može se definirati kao vrijeme koje je prošlo od kada se mineral ohladio na temperaturu ispod svoje temperature blokiranja te je od tada ostao zatvoren sustav za K i Ar. Istraživanja su pokazala da različiti minerali imaju različite temperature blokiranja.

Npr. duboko smješteni pluton koji se sporo hladi sadrži hornblendu i biotit. Temperatura blokiranja za hornblendu je viša od temperature blokiranja za biotit tj. K/Ar sat za hornblendu početi će otkucavati ranije od K/Ar sata za biotit. Zbog toga će hornblenda dati starije vrijeme kristalizacije nego biotit. Razlika u starostima tih minerala može dati brzinu hlađenja ukoliko su njihove temperature blokiranja poznate. Takvi diskordantni K/Ar podatci kod koegzistirajućih minerala uočeni su i kod metamorfnih stijena. Interpretacija može biti slijedeća: 1) svi minerali su potpuno resetirani tijekom metamorfizma nakon kojeg je slijedilo sporo hlađenje stijena ili 2) resetiranje je bilo nepotpuno.

Tijekom dužeg vremenskog razdoblja veliki broj uzoraka biotita iz gnajseva i škrljavaca iz prekambrijskih štitova i orogenskih pojaseva datiran je K/Ar metodom. Ovi podatci ne ukazuju na starost stijena, ali pokazuju vrijeme koje je prošlo od kada je biotit ohlađen ispod temperature blokiranja. Kada se K/Ar starosti biotita iz metamorfnih terena ucrtaju na kartu daju površinu koja se naziva „metamorfni veo“. Drugim riječima, K/Ar podatci pokazuju starost regionalnog metamorfizma. Opažena homogenost K/Ar podataka u prekambrijskim štitovima i orogenskim pojasevima ukazuju da su veliki segmenti kontinentalne kore bili metamorfozirani i nakon toga hlađeni sličnom brzinom. Hlađenje velikih segmenata kontinentalne kore ujednačenom brzinom može biti posljedica izdizanja velikih kratonskih blokova okruženih frakturama.

Npr. datiranje gnajseva u Grenvilleskoj provinciji u Kanadi (Grenvillski orogen 950 mil.god.) pokazuje porast «prividne» starosti od istoka prema zapadu (izolinije starosti).

Amstrong (1966) je zaključio da magmatske i metamorfne stijene iz središnje zone orogena ukazuju vrijeme izdizanja i hlađenja, a ne starost metamorfizma.

**Prekambrijska vremenska ljestvica.** Geological Survey of Canada u ranim 70-tim prošlog stoljeća inicirao datiranje biotita i muskovita u magmatskim i metamorfnim stijinama, na kanadskom štitu, da se ustanove glavni orogenetski događaji.