

Kvantitativna i izotopna geokemija (9)

Radiogeni izotopni sustavi (4): Sm-Nd

Geokemija Sm i Nd

Određivanje starosti Sm-Nd metodom

Dijagram porasta Nd

Starost prema modelu

Korelacijski dijagrami Sr-Nd

Uvod

- Sm-Nd metoda datiranja – koristi se u geoznanostima od 1970-ih godina (jako precizni maseni spektrometri)

Name	Reaction	Decay constant/ y^{-1}	Half-life/ y	Applications [†]
K–Ar	$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar} + \beta^+ + \bar{\nu}$ $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + \beta^- + \bar{\nu}$	$\lambda_{\text{Ar}} = 0.581 \times 10^{-10\text{S}}$ $\lambda_{\text{Ca}} = 4.962 \times 10^{-10\text{S}}$	$1.250 \times 10^{9\text{S}}$	Geochronology of K-bearing minerals
Rb–Sr	$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr} + \beta^- + \bar{\nu}$	1.42×10^{-11}	4.88×10^{10}	Geochronology, seawater evolution, sediment correlation, magma genesis
Sm–Nd	$^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd} + \alpha^{2+}$	6.54×10^{-12}	1.060×10^{11}	Precambrian geochronology, sediment provenance, crustal and mantle evolution, stony meteorite and lunar studies, magma genesis
Lu–Hf	$^{176}\text{Lu} \rightarrow ^{176}\text{Hf} + \beta^- + \bar{\nu}$	1.94×10^{-11}	3.57×10^{10}	Geochronology, mantle evolution, crustal growth models
Re–Os	$^{187}\text{Re} \rightarrow ^{187}\text{Os} + \beta^- + \bar{\nu}$	1.666×10^{-11}	4.16×10^{10}	Geochronology including iron meteorites, mantle and lithosphere evolution
U–Th–Pb	$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha^{2+} + 4\beta^- + 4\bar{\nu}$ $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7\alpha^{2+} + 4\beta^- + 4\bar{\nu}$ $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha^{2+} + 6\beta^- + 6\bar{\nu}^*$	4.9475×10^{-11} 9.8485×10^{-10} 1.55125×10^{-10}	14.010×10^9 0.7038×10^9 4.468×10^9	Geochronology, crustal evolution, meteorite studies, magma genesis

[†] After Henderson and Henderson (2009).

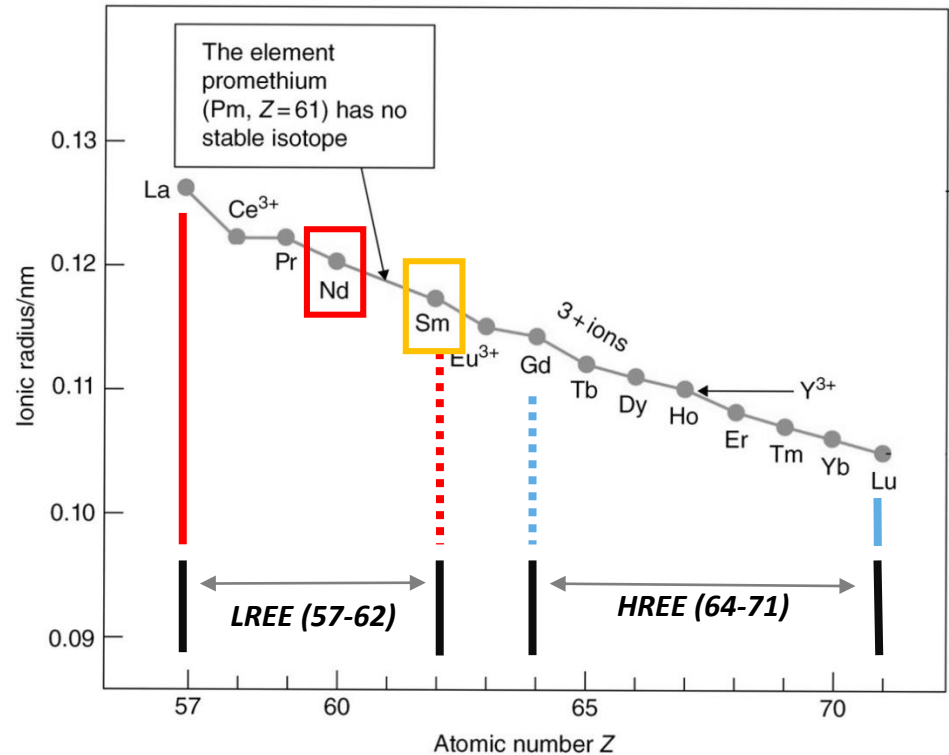
[§] The combined rate constant λ is the sum of the two individual rate constants = $5.543 \times 10^{-10} \text{yr}^{-1}$. The concept of half-life is applicable only to the combined decay of ^{40}K .

* See Figure 3.3.1 for the full decay scheme.

Pregled podataka za temeljne radioizotopne sustave koji se koriste u gekronologiji. Preuzeto iz Gill (2015). Podaci o konstantama i vremenima poluraspada mogu se razlikovati, ovisno o literaturnim izvorima.

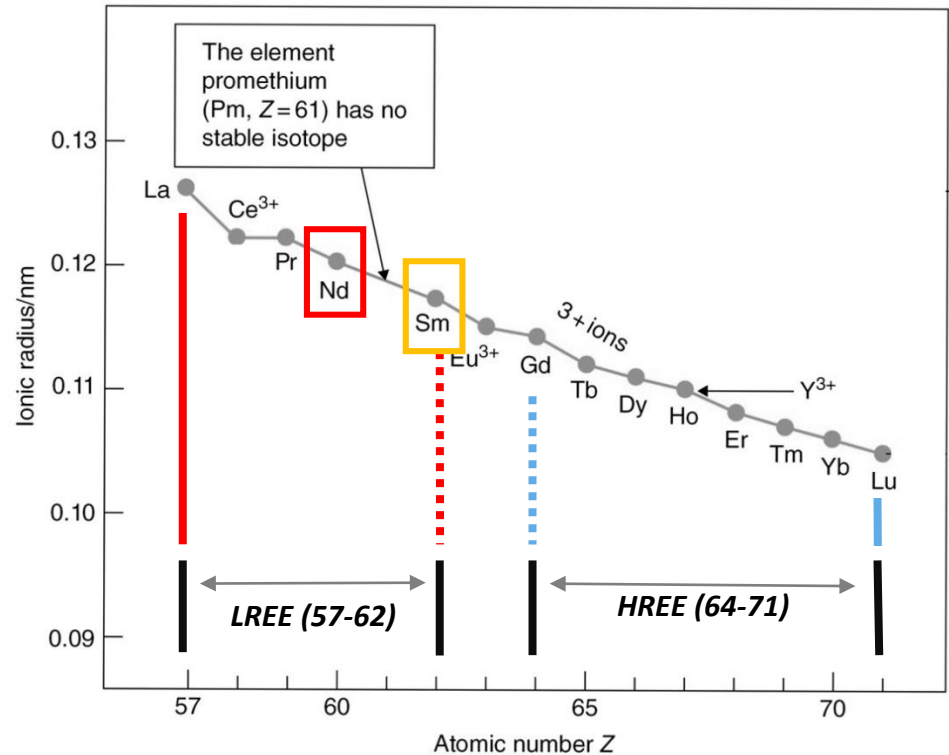
Geokemija samarija i neodimija

- ključna prednost: Sm i Nd – roditelj i kćer = elementi u tragovima iz skupine **elemenata rijetkih zemalja (LREE)**
- ponašanje REE u geološkim procesima je dobro poznato i predvidivo
 - svi: 3+ naboj (2 iznimke)
 - radijus: sistematična promjena kao funkcija atomskog broja
- posljedica:
 - predvidio međusobno odjeljivanje pojedinih REE-ova prilikom procesa parcijalnog taljenja i kristalizacije stijena
- bitno: **vrlo slaba topljivost REE u vodi** = relativno **nemobilni** tijekom trošenja i brzo precipitiraju iz morske vode nakon što dospiju u oceane riječnim tokovima



Podjela elemenata rijetkih zemalja na lake (LREE) i teške (HREE). Naznačena je pozicija Sm i Nd - poba spadaju u LREE.

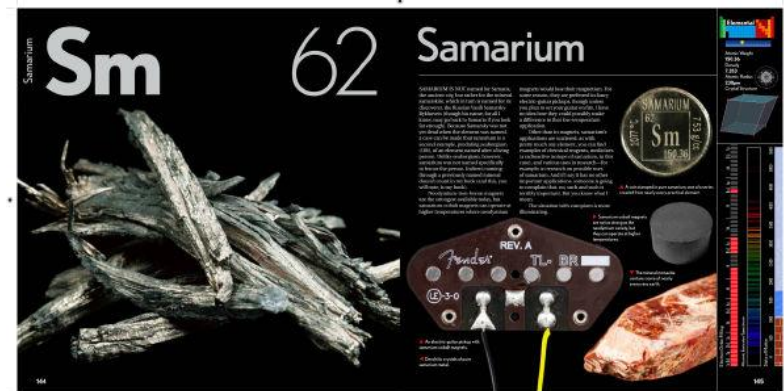
- Sm i Nd se **slično** ponašaju u većini geoloških procesa: nisu pod značajnim utjecajem procesa trošenja + spora difuzija kroz minerale
- posljedica: Sm-Nd **otporniji na resetiranje** od ostalih radioizotopnih sustava i može davati točne početne starosti nastanka stijena koje su prošle kroz kompleksnu metamorfnu povijest



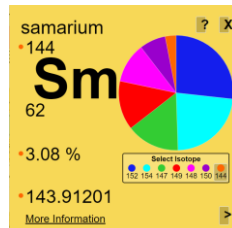
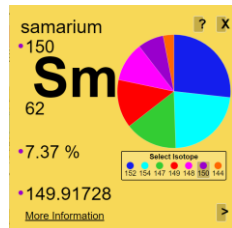
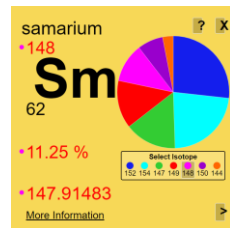
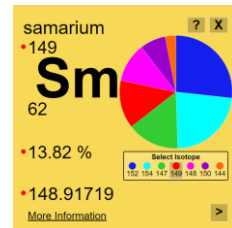
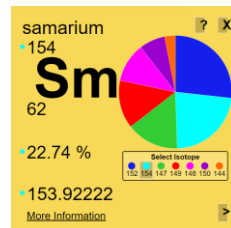
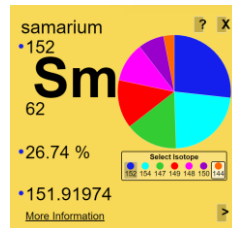
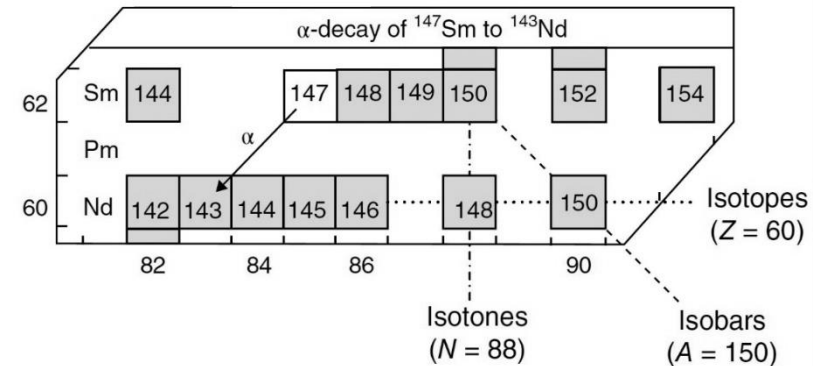
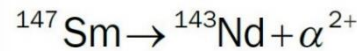
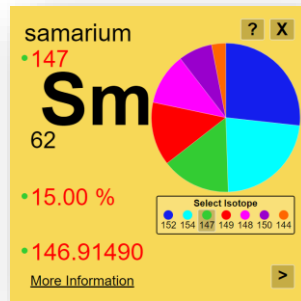
Podjela elemenata rijetkih zemalja na lake (LREE) i teške (HREE). Naznačena je pozicija Sm i Nd - poba spadaju u LREE.

Samarij

- LREE
- litofilni e.
- refraktorni
- sedam prirodnih izotopa
- radioaktivan: ^{147}Sm (i ^{148}Sm)



<https://periodictable.com/theelements/pages.html>



Podaci preuzeti s interaktivnog periodnog sustava elemenata i izotopa.
<https://applets.kcvs.ca/IPTEI/IPTEI.html>.

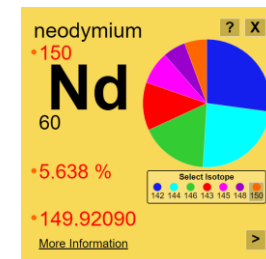
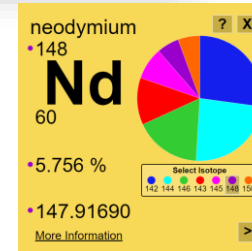
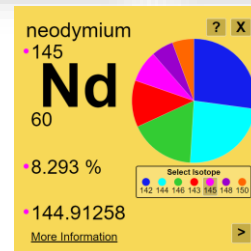
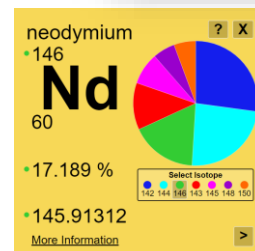
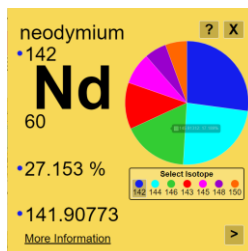
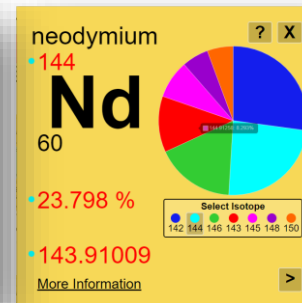
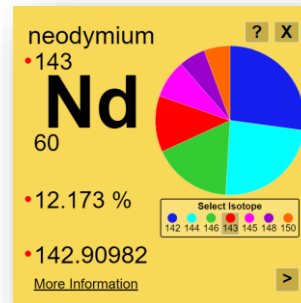
Neodimij

- LREE
- litofilni e.
- refraktorni
- zastupljenost Nd izotopa u stijenama i mineralima mijenja se s vremenom kao posljedica nastanka radiogenog ^{143}Nd iz ^{147}Sm



<https://periodictable.com/theelements/pages.html>

- sedam prirodnih izotopa neodimija:



Podaci preuzeti s interaktivnog periodnog sustava elemenata i izotopa.
(<https://applets.kcvs.ca/IPTEI/IPTEI.html>).

Ponašanje Sm i Nd

- većina REE-ova je nekompatibilna u bazaltnim mineralima
 - prilikom kristalizacije olivina, piroksena i plagioklasa dolazi do **povećanja koncentracije REE u preostaloj količini taljevine** (uz iznimku ponašanja europija)
- parcijalno taljenje i frakc. kristalizacija moći će iskoristiti **malene razlike u ponašanju Sm i Nd** i međusobno ih **razdvojiti**
 - apatit i plagioklasi – preferiraju Nd u odnosu na Sm ($K_d(\text{Nd}) > K_d(\text{Sm})$)
 - većina drugih minerala ima suprotan utjecaj na frakcioniranje Sm i Nd
 - posebno naglašeno kod granata: $K_d(\text{Sm}) > 3 \times K_d(\text{Nd})$
- posljedica: **Nd se jače izdvaja u taljevinu** nego Sm (malo je **jače nekompatibilan**) → ključno za upotrebu Sm-Nd datiranja
- varijacija $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ magmatskih stijena koristi se za utvrđivanje vremena kada je došlo do frakcioniranja materijala unutar plašnog izvorišta
- stijene **visokog** omjera Sm/Nd proizvode više ^{143}Nd = **bazične stijene**
- stijene **niskog** omjera Sm/Nd proizvode manje ^{143}Nd = **kiselije stijene**
 - iako je razlika malena, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ brže se povećava u plaštu, nego u kori → plaštne stijene imaju viši $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_0$ nego stijene kore

- primjena Sm-Nd izotopnog sustava zadire i u brojna fundamentalna pitanja razvoja same Zemlje i planetarnih tijela
 - primjeri: vrijeme nastanka Mjeseca, nove procjene ukupnog sastava Zemlje, karakter i starost diferencijacije "oceana magme" na Zemlji, Marsu i Mjesecu; starost najstarijih stijena na Z., brzine rasta kont. kore, datiranje mafitnih i ultramafitnih stijena, deformacijska povijest metamorfnih terena visokog stupnja, obrasci oceanske cirkulacije
- jedna od većih **mana** Sm-Nd sustava: **vrlo malo odjeljivanje Sm od Nd** prilikom geoloških procesa + **dugo vrijeme poluraspada** ^{147}Sm = dovode do vrlo **ograničene varijacije** $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ **omjera** → postoje (posebno danas) radioizotopni sustavi koji su bolji (npr. U-Pb na cirkonima)
- ali je vrlo značajan radioizotopni sustav **za stijene koje ne sadrže dovoljne omjere U-Pb** (odnosno cirkon) da bi se moglo izvršiti datiranje tom metodom
 - primjeri: neki tipovi meteorita (posebno oni s Marsa), zemaljske stijene bogate Mg – komatiiti, bazalti, uslojene mafitne intruzije, peridotiti + granat!

Određivanje starosti Sm-Nd metodom

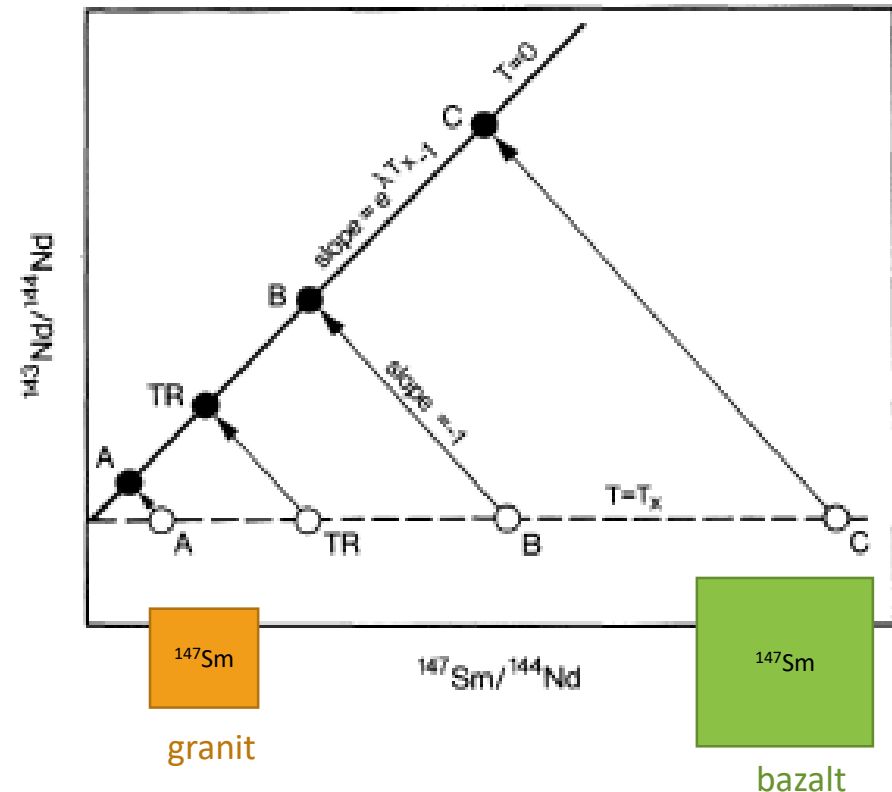
- isti postupak kao kod Rb-Sr metode: konstrukcija izokrone i matematički izraz za izračun vremena
 - logika: imali smo **Rb-Sr** sustav koji se bazirao na **nekompatibilnim litofilnim elementima u tragovima**
 - ali **Rb i Sr** = (zemno)alkalijski metali → vrlo **mobilni** = interakcija s vodenim fluidom lako ih uklanja iz stijene (metamorfizam, trošenje!)
 - **REE** (uključujući Sm i Nd) – izuzetno **nemobilni**, "otporni" na alteracijske procese = moći će se primjenjivati na **veći raspon stijena** nego Rb-Sr
 - **sličnost** sa Rb-Sr: ponašanje oba sustava se matematički može prikazati na **isti način**, vrlo često se i koriste zajedno
- važna činjenica: **Sm i Nd** – **slabije mobilni** od Rb i Sr u hidrotermalnim uvjetima i niskom stupnju metamorfizma → Sm-Nd metoda je izuzetno značajna za **datiranje umjereno alteriranih uzoraka efuziva**, kao i za **arhajske i proterozojske materijale** (zbog duljeg vremena poluraspada)

- u omjer se stavlja **radiogeni izotop** ^{143}Nd i **neradiogeni** ^{144}Nd odnosno radioaktivni roditelj ^{147}Sm i neradiogeni ^{144}Nd
- uzorci za određivanje starosti – moraju biti **kogenetski**

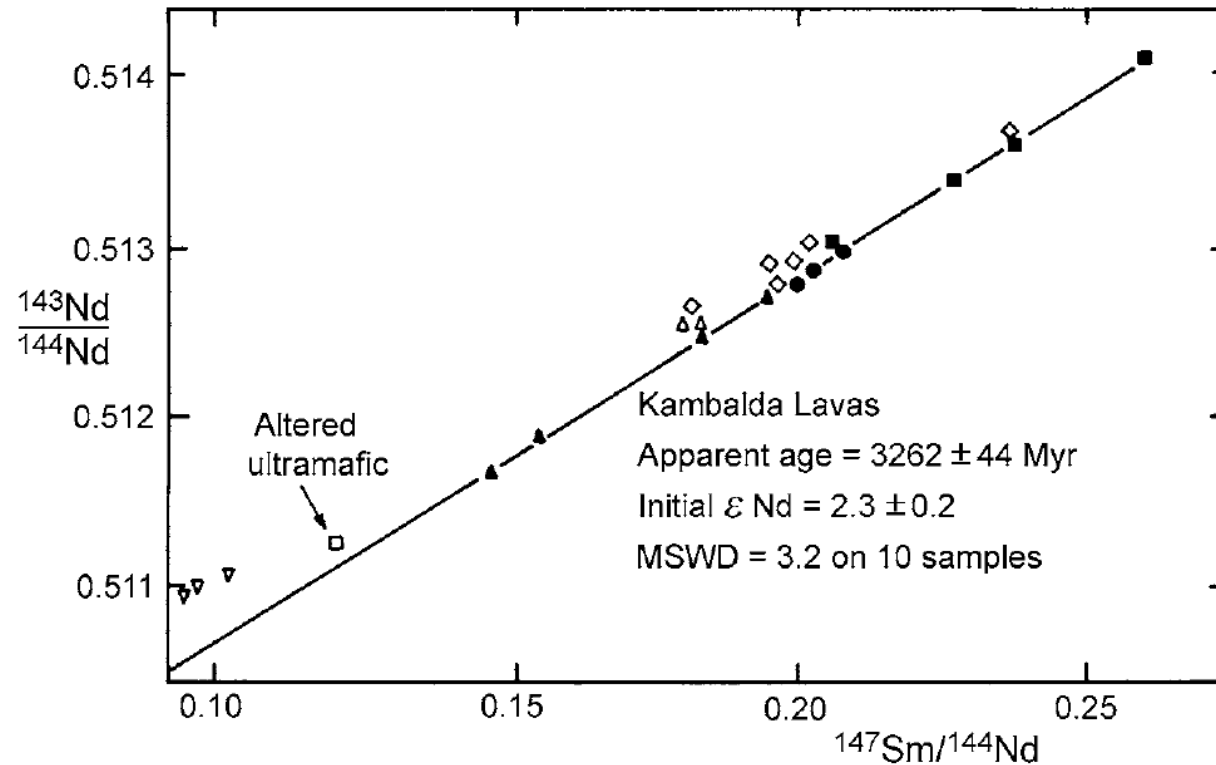
- **jednadžba izokrone:**

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_t = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_0 + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_t (e^{\lambda_{\text{Sm}} t} - 1)$$

Oprez: razlika od Rb-Sr izokrone - stijene **bliže ishodištu (A)** su **kiselije** od onih **udaljenijih od ishodišta (C)**!!!

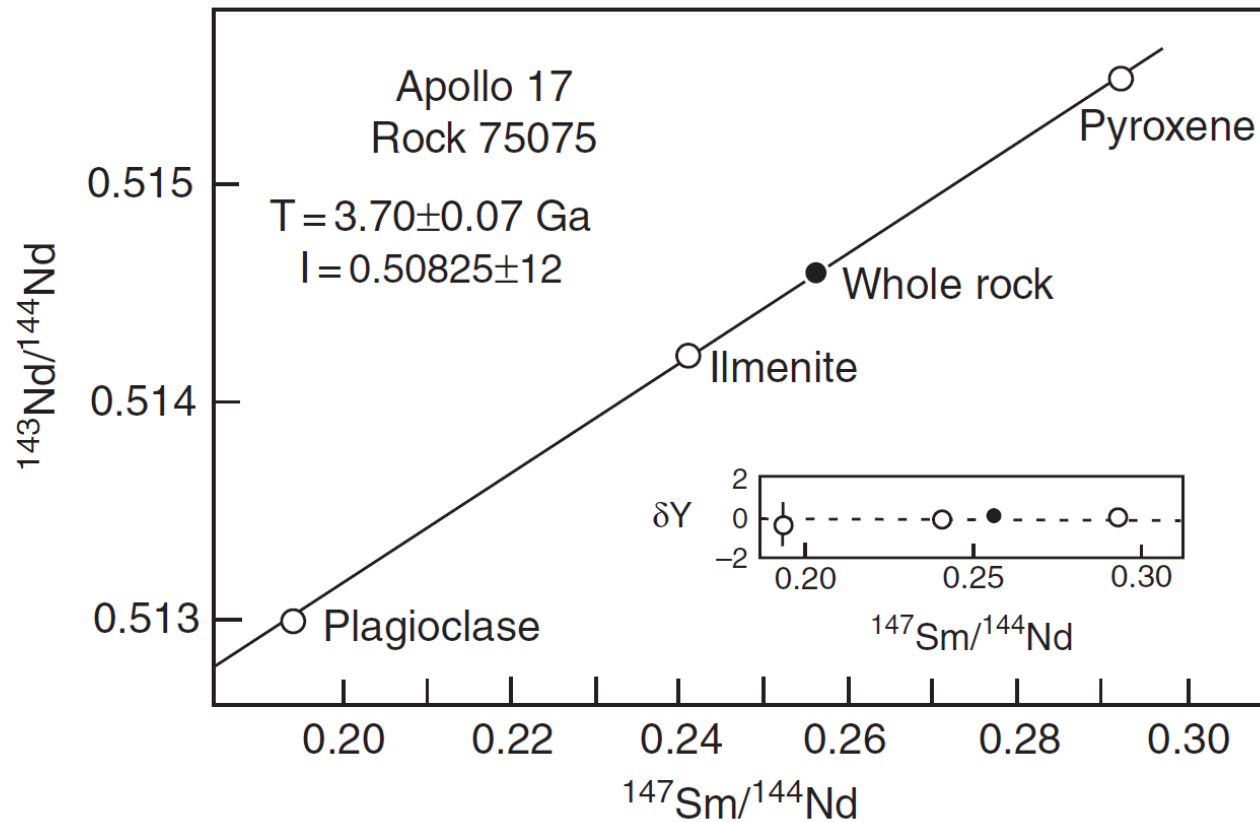


- primjer izokrone - cijelostijenska:



Sm-Nd izokrona za cijelostijenske uzorke Kambalde (Z Australija; Ni-Cu-PGE rudno ležište) - raspon od komatiita do kiselijih stijena. Preuzeto iz Dickin (1995).

- primjer izokrone - mineralna:



Sm-Nd izokrona za minerale iz bazalta Mjesečevih mora 75075. Podaci su za cijelu stijenu, plagioklas, ilmenit i piroksen. Iz nagiba je dobivena starost kristalizacije. Preuzeto iz MsSween (2010).

Dijagram porasta neodimija: evolucija izotopnih rezervoara

- princip isti kao kod Rb-Sr sustava
- prate se promjene **omjera** $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ **u vremenu**
- pojednostavljenje/aproksimacija jednadžbe izokrone:

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_0 + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t (e^{\lambda_{\text{Sm}}t} - 1)$$

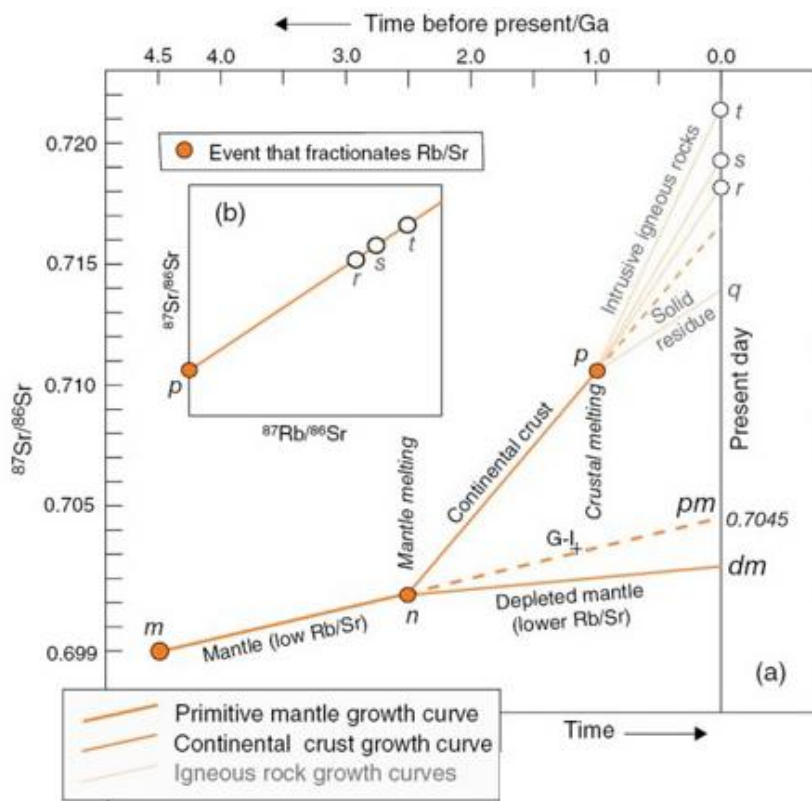
jednadžba izokrone



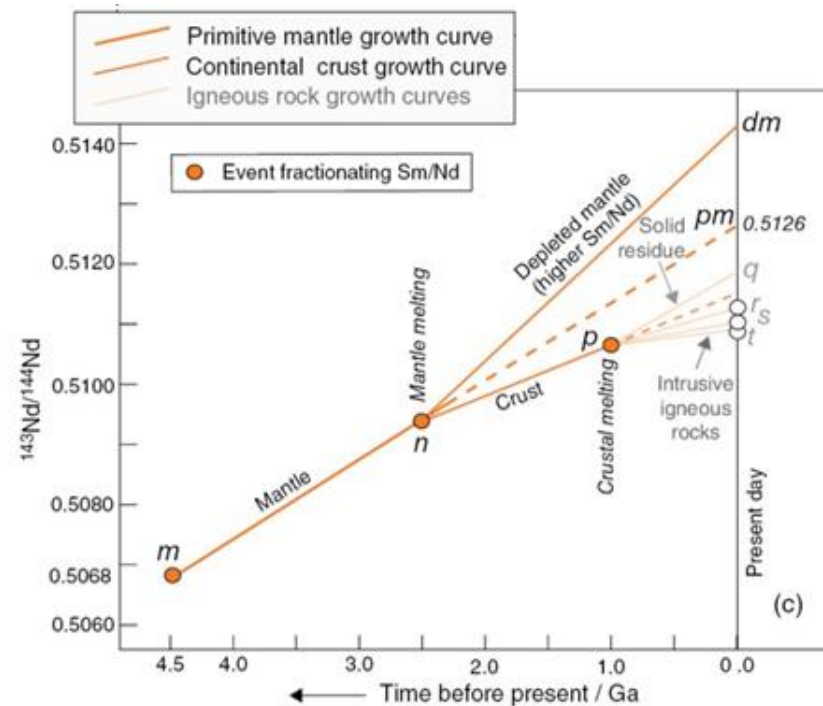
$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t \approx \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_0 + \left[\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right) \lambda_{\text{Sm}} t\right]$$

**jednadžba porasta
neodimija**

- os y kod Sm-Nd ima drugačije mjerilo u odnosu na Rb-Sr – **puno manji raspon vrijednosti**
 - zato što su Sm i Nd LREE, vrlo sličnog kemijskog ponašanja i sličnog ionskog radijusa
 - razlika u nekompatibilnosti između Sm i Nd - manja nego kod Rb i Sr → dolazi do **slabije međusobne frakcionacije** prilikom taljenja i kristalizacije nego kod Rb i Sr

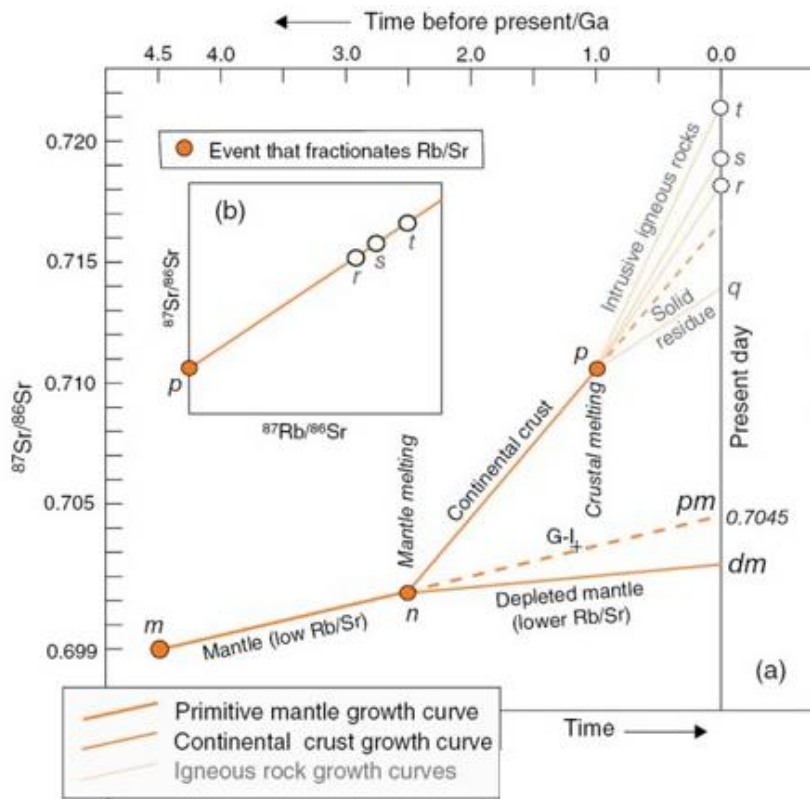


Dijagram porasta stroncija od trenutka nastanka Zemlje.

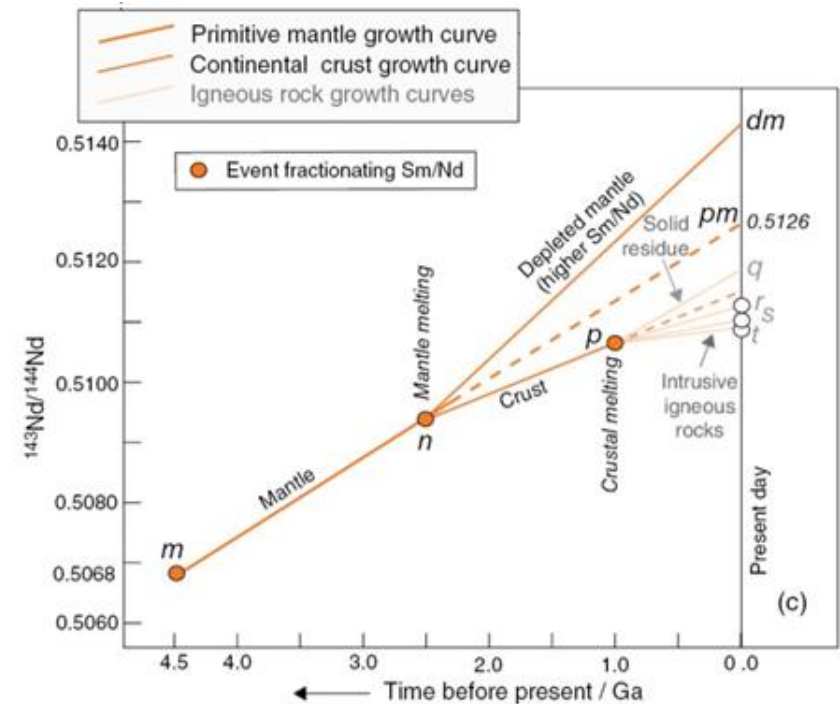


Dijagram porasta neodimija od trenutka nastanka Zemlje.

- dva grafikona međusobno razlikuju → **Nd izgleda "naopačke"** u odnosu na Sr grafikon
- kada dođe do taljenja plašta u točki n , $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ kore mijenja se po liniji **manjeg nagiba** od plašta ("ispod" plašta), dok se Nd-omjer plašta mijenja po strmijoj liniji

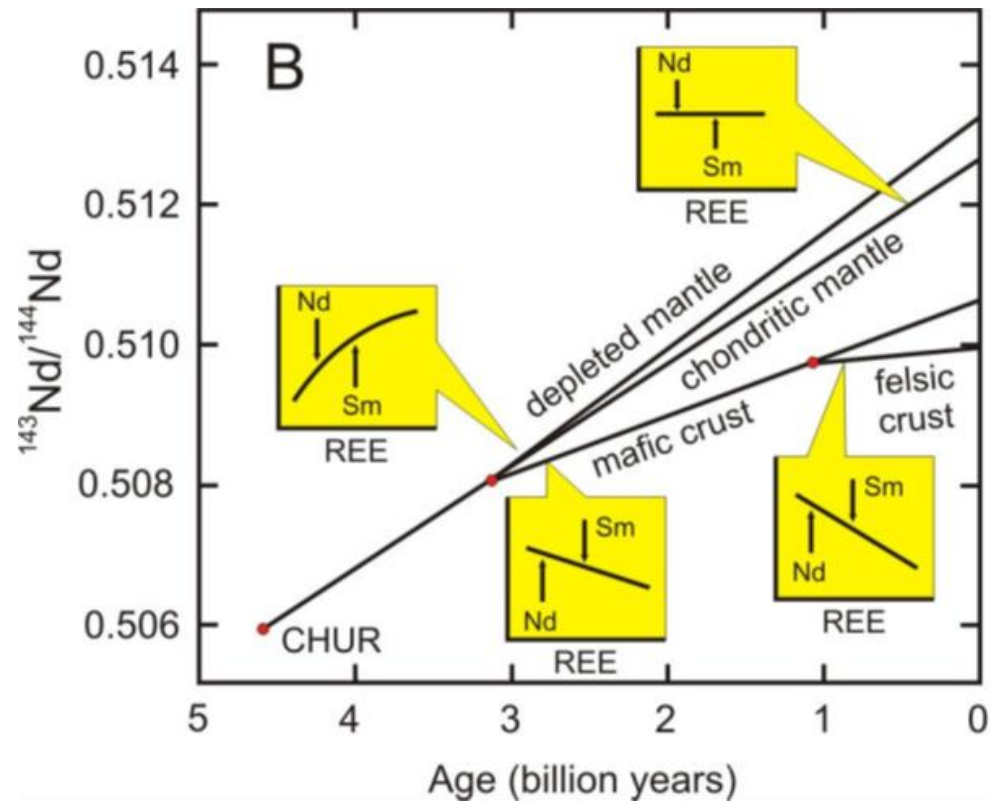


Dijagram porasta stroncija od trenutka nastanka Zemlje.



Dijagram porasta neodimija od trenutka nastanka Zemlje.

- isti obrazac ponašanja ponavlja se unutar kore – svaki **novi događaj taljenja** uzrokuje **blaži nagib za novonastalu diferenciraniju magmu** (stijenu), a **strmiji nagib za rezidualni kruti materijal** (primjer točke p)
- razlog: **roditeljski nuklid ^{147}Sm je manje nekompatibilan nego izotop kćer Nd**
 - kod Rb kao roditelja – obrnuto – Rb je bio kompatibilniji u kiselijim stijenama (stijenama kore) od Sr kćeri!
- **taljevine** koje su nastale parcijalnim taljenjem u točkama n i p zbog toga imaju **niži omjer roditelj/kćer ($^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$) nego izvorišna stijena**
- zato $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ omjer raste sporije u stijenama koje nastaju iz takvih izvorišta
- **kora** – karakterizirana **niskim Sm/Nd** omjerima, sadržavat će **manje radiogenog Nd** od primitivnog plašta
- **osiromašeni plašt** preostao nakon parcijalnog taljenja – sadržavati će **više radiogenog Nd**



Dijagram porasta neodimija od trenutka nastanka Zemlje.

Starost prema modelu

- **parcijalno taljenje i frakcijska kristalizacija** procesi koji u najvećoj mjeri utječu na odjeljivanje Sm od Nd
 - sustav posebno prikladan za utvrđivanje **vremena** kada je u stijeni (ili materijalu iz kojeg je nastala) došlo do **promjene Sm/Nd omjera** u odnosu na neki **model izotopne evolucije Zemljinog plašta**
- starosti dobivene na taj način = **starosti prema modelu** (modelne starosti)
- **starost prema modelu neodimija** = procjena **starosti "formiranja kore"** utemeljena na pretpostavci određenog modela sastava plaštnog izvorišta → određuje se "trenutak" kada je uzorak imao isti Nd omjer kao izvorište
 - drugi naziv: **vrijeme zadržavanja materijala u kori** (*crustal residence time*) - zato što omogućava procjenu koliko dugo je uzorak Nd bio u kori
- ovakav pristup najčešće se koristi za određivanje starosti terena kore unutar prekambrijskih orogenih pojaseva

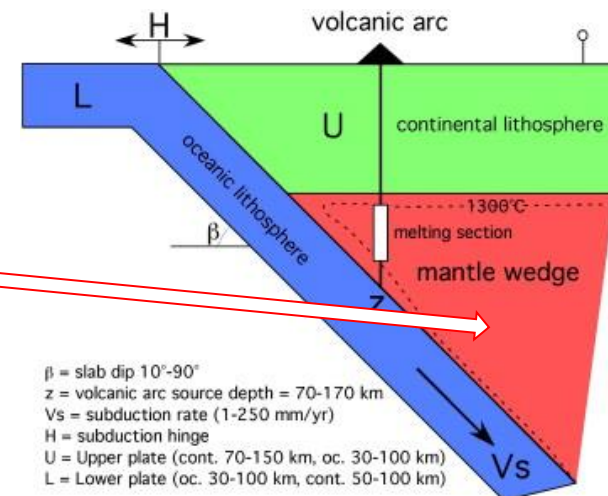
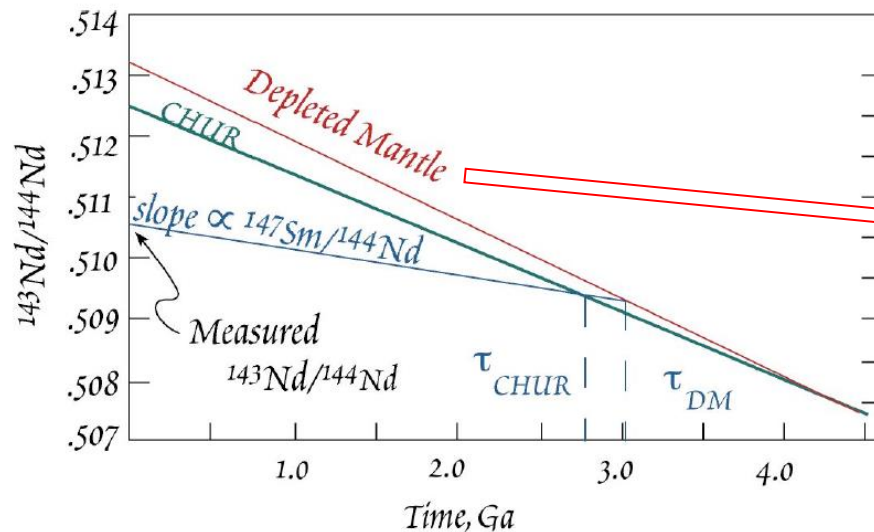
- starost ovisi o **pretpostavljenom modelu plaštne evolucije**, tako da točnost samih odredbi ovisi o tome koliko je izabrani model uistinu prikladan za stijenu koju se datira
- relativno velika analitička nesigurnost ovakvih metoda: ± 20 mil. god.
- **jedinstvenost Sm-Nd metode**: mogućnost određivanja **starosti formiranja kore**, prvih blokova koji su nastali iznad subd. zone
 - razlika od U-Pb metode: **U-Pb** može puno preciznije i točnije odrediti samu starost **kristalizacije**, ali **nije moguće** odrediti **kada se materijal kore prvi puta izdvojio iz plašta** kao sa Sm-Nd sustavom
- sastav promatrane stijene/zajednice stijena uspoređuje se sa određenim modelom plašta
- modeli plašta mogu biti različiti:
 - a) plašt = jednolični rezervoar sličan hondritima
 - b) plašt = osiromašen, prošao kroz diferencijaciju

A) Nd starosti prema CHUR modelu

- DePaolo i Wasserburg (1976)
- **CHUR** – *Chondritic Uniform Reservoir* = jednolični hondritski rezervoar
- temelj: početni omjeri terestričkih magmatskih stijena leže na istoj krivulji porasta Nd kao i hondritski meteoriti → pretpostavili da je plaštno izvorište svih terestričkih magmatskih stijena imalo **ujednačeni "Bulk Earth"** potpis koji je **ekvivalentan CHUR rezervoaru**
- važno imati nekoliko ulazni pretpostavki na umu (koje uzrokuju veće ili manje odstupanje od modela, bez obzira radi li se o CHUR ili DM):
 - 1. plašt se jednoliko razvijao – moguće ga je prikazati modelom
 - 2. plašt se ponašao kao zatvoreni sustav
 - 3. fragment kore za koji se određuje starost ekstrahiran je iz plašta u jednom jedinstvenom događaju (funkcionira za arhajske terene u Kanadi, ali ne i za Ande gdje dolazi do miješanje raznih izvorišnih materijala)

B) Nd starosti prema DM modelu

- DePaolo (1981)
- mladi vulkaniti → **osiromašeni gornji plašt**
 - morao je biti posljedica **ekstrakcije materijala kore kroz Zemljinu povijest**, što je ostavljalo u gornjem plaštu **reziduum osiromašen nekompatibilnim elementima**, sa **višim Sm-Nd** omjerom
- model **osiromašenog plašnog rezervoara** (*depleted mantle, DM*) → takav odgovara tipičnom materijalu kakav se nalazi u plašnim klinovima ispod subdukcijskih zona



Usporedni prikaz oba modela evolucije Nd omjera plašta s prolaskom vremena. Crvena linija - prema DM modelu, Zelena linija - prema modelu jednoličnog hondritskog rezervoara (CHUR).

- za oba modela starost se utvrđuje iz temeljen jednadžbe za Sm-Nd datiranje, ali se kao inicijalna vrijednost koristi vrijednost za CHUR ili DM

$$\tau_{CHUR} = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{{}^{143}\text{Nd} / {}^{144}\text{Nd}_{sam} - {}^{143}\text{Nd} / {}^{144}\text{Nd}_{CHUR}}{{}^{147}\text{Sm} / {}^{144}\text{Nd}_{sam} - {}^{147}\text{Sm} / {}^{144}\text{Nd}_{CHUR}} + 1 \right)$$

$$\tau_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{{}^{143}\text{Nd} / {}^{144}\text{Nd}_{sam} - {}^{143}\text{Nd} / {}^{144}\text{Nd}_{DM}}{{}^{147}\text{Sm} / {}^{144}\text{Nd}_{sam} - {}^{147}\text{Sm} / {}^{144}\text{Nd}_{DM}} + 1 \right)$$

Epsilon notacija (ϵ)

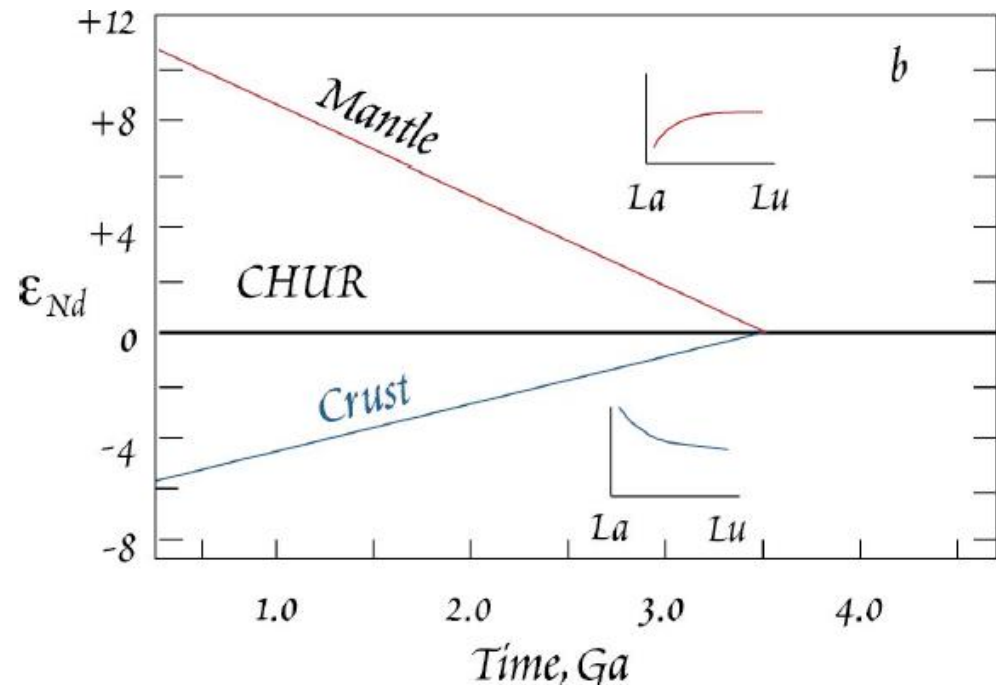
- alternativni način prikaza podataka **o omjerima izotopa** koji omogućava veću fleksibilnost u samom prikazu izotopnih podataka
 - može se računati i za druge radioizotopne sustave, ali se najviše uvriježio za prikaz varijacije Nd izotopa
- razlog zašto se koristi epsilon umjesto samih izotopnih omjera:
 - apsolutne vrijednosti izotopnih omjera omogućavaju usporedbu podataka samo ako gledamo uzorke **iste starosti**
- **epsilon vrijednost (ϵ)**
 - mjera koliko uzorak ili set uzoraka **odstupa od hondritske** vrijednosti uniformnog rezervoara → može se koristiti kao parametar za normalizaciju za **uzorke različitih starosti**
 - izražava se kao dio od 10 000
- ϵ_{Nd} – mjera razlike $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ omjera u uzorku ili zajednici uzoraka u odnosu na referentnu vrijednost za koju se uzima CHUR

- najčešća primjena ϵ_{Nd} :
 - izračun epsilon parametra za stijene u današnjem trenutku – gleda se izmjereni $^{143}Nd/^{144}Nd$ za uzorak stijene ili minerala u sadašnjem trenutku i uspoređuje s vrijednošću hipotetskog CHUR rezervoara u današnjem trenutku

$$\epsilon^0(Nd) = \left[\frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_{meas.}}{(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}^0} - 1 \right] 10^4$$

$\left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd} \right)_{CHUR}^0 = 0.511847$ or 0.512638 (depending on the way the isotope fractionation correction is applied) is the present value of this ratio in CHUR (DePaolo 1988).

- raspon vrijednosti u Z. stijenama: +14 do -10
- pozitivne vrijednosti = plašno porijeklo materijala
- negativne vrijednosti = porijeklo u kori



- epsilon vrijednost može se izračunati i tako da **odgovara nekom trenutku u geološkoj prošlosti**, a ona se tada računa uz pomoć jednadžbe koja čini osnovnu jednadžbu za Sm-Nd datiranje, samo se svi omjeri odnose na CHUR
 - razlika u odnosu na "današnji trenutak" – naznači se uz samo oznaku epsilon vrijednosti – 0 ili t

$$\epsilon^t(\text{Nd}) = \left[\frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{meas.}}}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}^t} - 1 \right] 10^4$$



omjer $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}^t$ potreban za izračun u bilo kojem trenutku t računa se iz formule:

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^0 = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^0 (e^{\lambda t} - 1)$$

$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^0$ = 0.511847 or 0.512638 (depending on the way the isotope fractionation correction is applied) is the present value of this ratio in CHUR (DePaolo 1988).

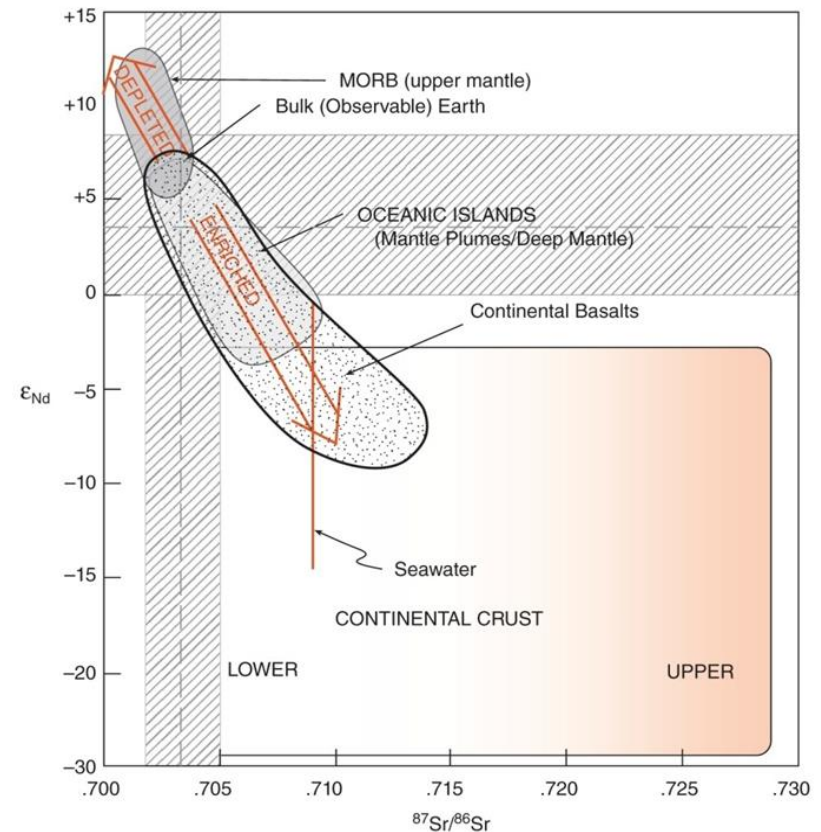
$\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^0$ = value of this ratio at the present time = 0.1967 (DePaolo 1988; Wasserburg et al. 1981)

Korelacijski dijagrami Sr i Nd: mapiranje plaštnih izvorišta

- kombinacija izotopnih podataka za **stroncij i neodimij**
 - posebno učinkovita za **diskriminaciju** između stijena koje su nastale iz Zemljinog **plašta** ili **parcijalnim taljenjem Zemljine kore** (ili materijala kontaminiranog korom)
 - obično se crta dijagram ϵ_{Nd} **nasuprot** $^{87}Sr/^{86}Sr$

- izotopna sistematika Sr i Nd za koru i plašt:

- MORB bazalti ekstrahiraju materijal iz osiromašenog gornjeg plašta ($\epsilon_{Nd} > 0$)
- OIB bazalti ekstrahiraju materijal iz bogatijeg donjeg plašta (uglavnom $\epsilon_{Nd} > 0$, ali i $\epsilon_{Nd} < 0$ ukoliko je dio subduciranog materijala vraćen u dublji plašt)
- kontinentalni bazalti - smjese različitih komponenti, uključujući plaštne perjanice, subkontinentalnu litosferu i kontinentsku koru - zato dosta veliko polje
- kont. kora - $\epsilon_{Nd} < 0$

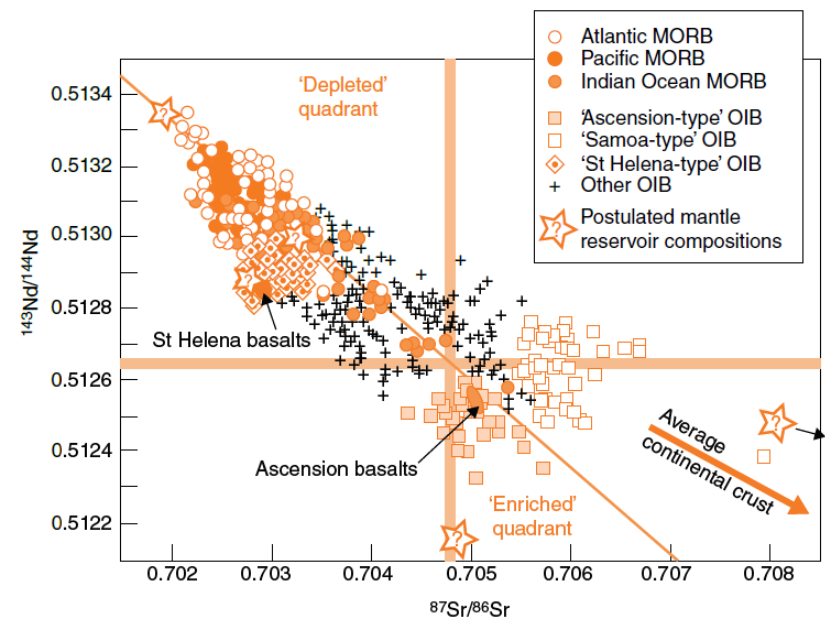


- dijagram $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
- izotopne analize mladih oceanskih vulkanita = plašt nije homogen
 - oceanski vulkaniti - da bi se izbjegao utjecaj materijala kore

- bazalti - produkti **parcijalnog taljenja** **plaštnog peridotita**

- nasljeđuju radiogeni izotopni potpis izvorišta
- ove stijene imale su homogeni sastav ^{87}Rb i ^{87}Sr , pa se očekivalo i okupljanje oko jedne vrijednosti u Sr-Nd dijagramu

- **ALI** bazalti formiraju izduženo područje = "**plaštni niz**" (*mantle array*)

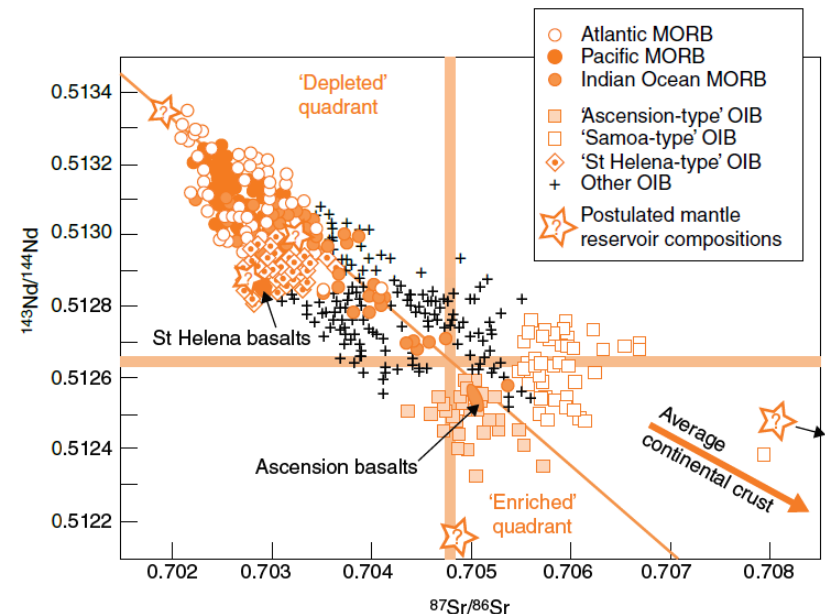


- **izotopni** sastavi **teških** elemenata poput Sr ne mogu se promijeniti djelovanjem parcijalnog taljenja → opažanje raspona vrijednosti ima određeno **geološko značenje**:

- 1. područja u plaštu iz kojih potječu bazalti moraju i sama **varirati** u svojim Rb/Sr i Sm/Nd omjerima da bi nastali rasponi vidljivi na grafikonu
- 2. do razvoja takve **heterogenosti** u plaštu moralo je doći **davno** u geološkoj prošlosti → da bi bile vidljive varijacije u izotopnim omjerima

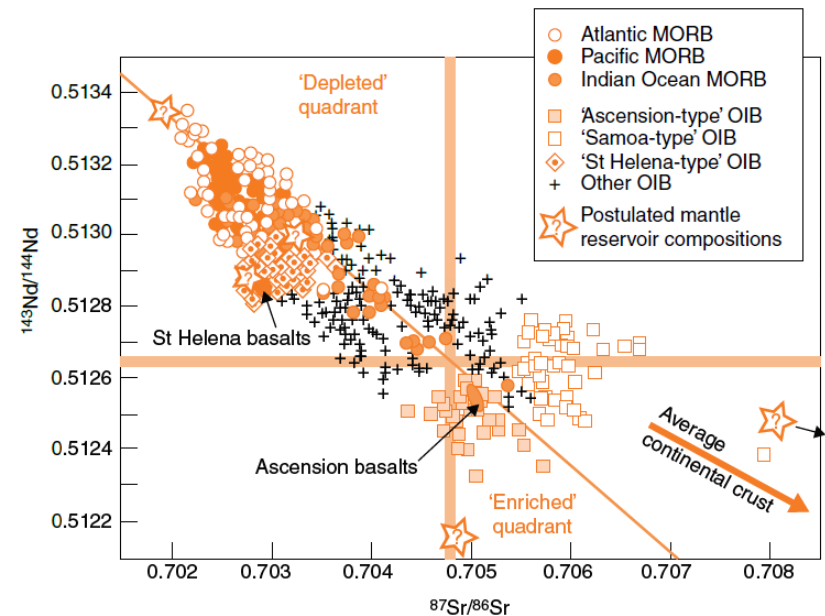
dodatni zaključci:

- 3. iako se preklapaju, vidljivo je **grupiranje** bazalta iz određenih oceanskih područja → znači da postoje **područja u plaštu** koja imaju određeni **raspon** karakteristika i koja se mogu smatrati "**pojedinačnim rezervoarima**"



- 4. većina **MORB-ova** - okupljena u gornjem lijevom kvadrantu = **osiromašeni** plašni rezervoari s niskim Rb/Sr i visokim Sm/Nd = relativno **uniforman** i dovoljno "**prostran**" rezervoar da hrani MORB vulkanizam u **svim** većim oceanskim bazenima
- 5. MORB rezervoar **razlikuje** se od **primitivnog** plašta

- **6. OIB** bazalti - intraoceanske vruće točke → bliže **primitivnom** plaštu, "proširenje" u obogaćeni kvadrant = osim osiromašenih, u plaštu imamo i **obogaćena** područja
- **7.** OIB se **okupljaju**, ali postoje područja koja se međusobno **više razdvajaju** od ostalih OIB-ova
- **8.** MORB-ovi Indijskog oceana - rasprostranjen duž "plaštnog niza" = pokazuju stvarni značaj **miješanja**, bilo među rezervoarima u plaštu ili njihovim produktima parcijalnog taljenja
- cijeli **raspon bazaltnih sastava** = posljedica **miješanja različitih plaštnih rezervoara** u različitim omjerima → plašt je poput "**mramornog kolača**"



Hmmmm :)



Mapiranje plašnih izvorišta

- **pet** plašnih rezervoara:
- **1. DMM = Depleted MORB Mantle**
 - smješten u plitkom, plastičnom dijelu astenosfere pod utjecajem konvekcijskih strujanja
 - dekompresijski se tali u područjima *spreadinga*
 - osiromašen zbog ekstrakcije kont. kore
- **2. EM1 = Enriched Mantle 1**
 - subducirana oc. kora i pelagički sedimenti čiji su se izotopni sastavi promijenili raspadom radioaktivnih elemenata u posljednjih 1-2 mlrd. god.
- **3. EM2 = Enriched Mantle 2**
 - subducirana oc. kora i terigeni sedimenti

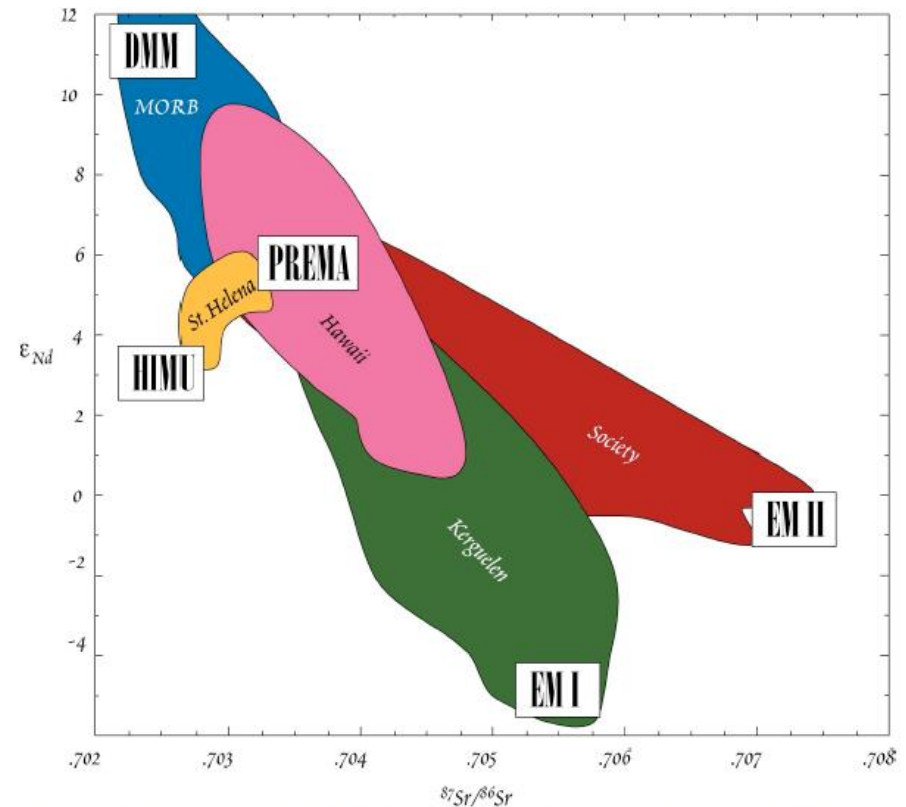


Figure 18.4. Five reservoir types of White (1985) and the components of Zindler and Hart (1986) in a plot of ϵ_{Nd} vs. $^{87}Sr/^{86}Sr$.

4. HIMU = High μ

- povišeni omjeri $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$
- subducirana oceanska kora sastavljena od MORB-ova i asociраних stijena
- U/Pb omjeri povišeni zbog gubitka Pb uslijed:
 - a) hidrotermalne aktivnosti duž hrptova
 - b) kasnije, dehidracijom prilikom subdukcije

5. PREMA = Primitive/"Prevalent" Mantle

- obogaćeni MORB vezan uz plaštne perjanice, OIB ili oceanske plateau
- frakcioniranje Sr i Nd omjera posljedica je parcijalnog taljenja ispod zadebljane kore gdje u izvorištu zaostaju nerastaljeni Cpx i ponekad Grt
- višestruko recikliranje (obogaćivanje)

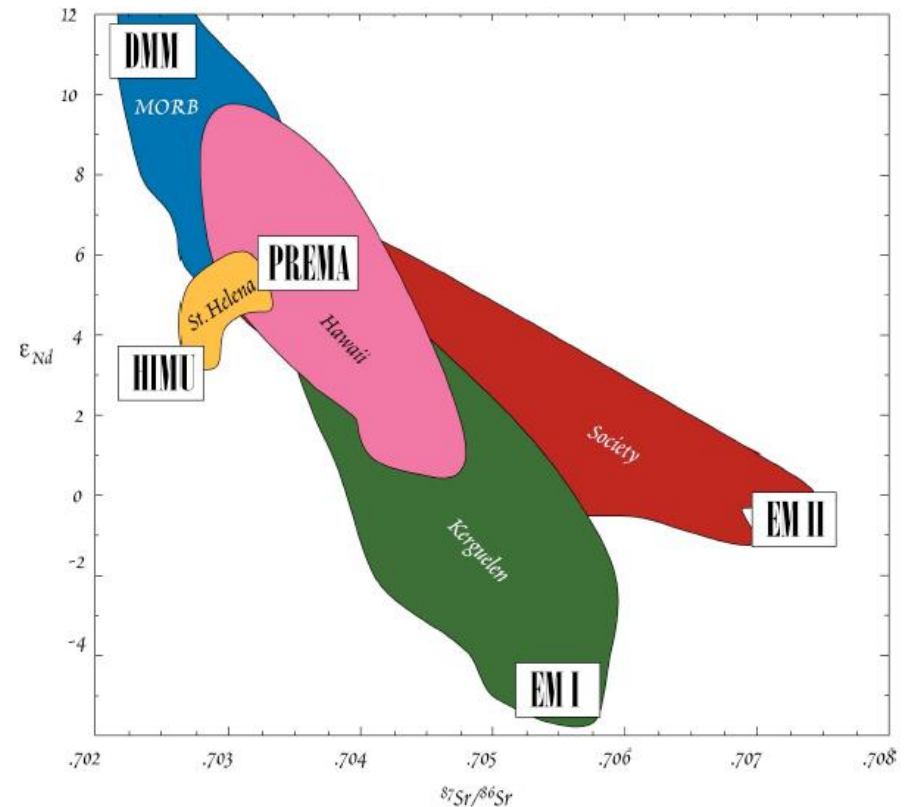
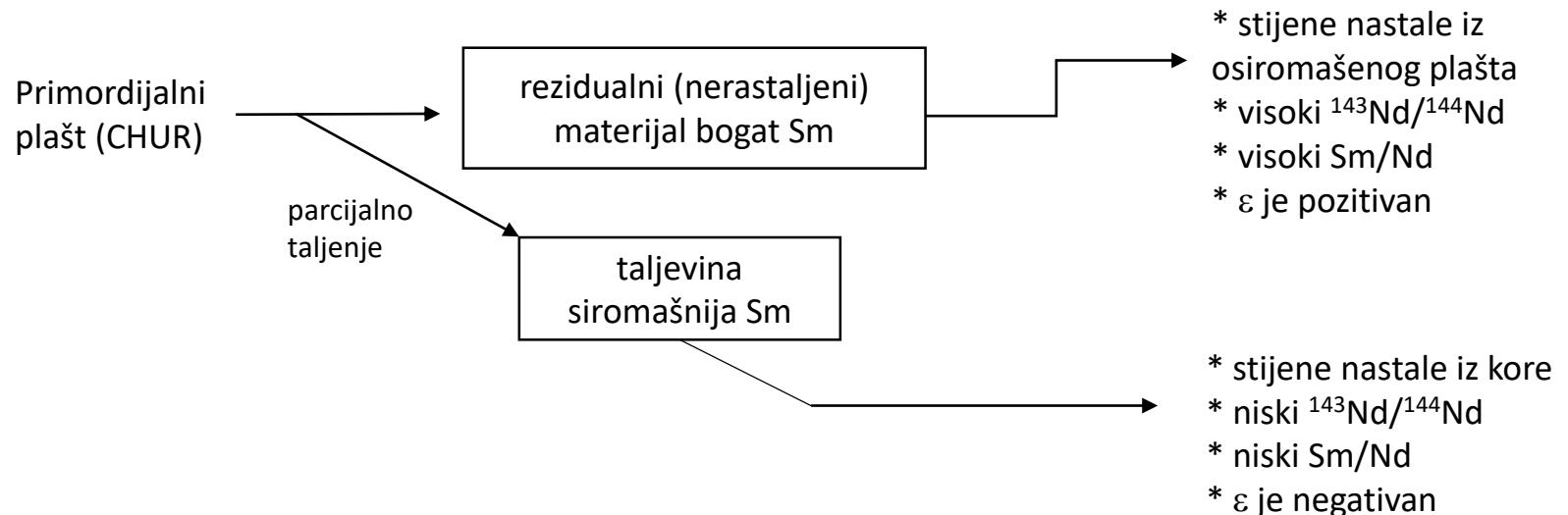


Figure 18.4. Five reservoir types of White (1985) and the components of Zindler and Hart (1986) in a plot of ϵ_{Nd} vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Sažetak

- dugo vrijeme poluraspada Sm = primjenjivo na slične stijene kao i Rb-Sr i K-Ar
 - otpornije na poremećaje uslijed metamorfizma i alteracija
 - ponašanje sličnije zatvorenim sustavima nego za Rb-Sr i K-Ar
- kombinacija sa ostalim izotopnim sustavima = moćno petrogenetsko oruđe (plašni rezervoari)

Petrogeneza magmatskih stijena (topologija skice odgovara dijagramu porasta Nd)



Dopunska literatura

- DePaolo, D. J. (1988): Neodymium Isotope Geochemistry. An Introduction. Minerals and Rocks 20. Springer-Verlag, Berlin. 187 str.
- Geyh, M. A., Schleicher, H. (1990): Absolute Age Determination. Springer-Verlag, Berlin. 503 str.
- McSween, H. J., Huss, G. R. (2010): Cosmochemistry. Cambridge University Press, Cambridge. 549 str.