



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Γεωχημεία

Ενότητα 1: Γεωχημικές διεργασίες στο εσωτερικό
της γης

Χριστίνα Στουραϊτη

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Γεωχημικές διεργασίες στο εσωτερικό της γης

Ισοτοπική Γεωχημεία

I. Βασικές αρχές

Περιεχόμενα

- **Θεωρία**
 - Ισότοπα
 - Ραδιενέργεια
 - Ο φασματογράφος μάζας
- **Βασικές αρχές ραδιοχρονολόγησης**
 - Ραδιενεργή διάσπαση
 - Τρόποι χρονολόγησης
- **Μέθοδος ραδιοχρονολόγησης Rb - Sr**



Θεωρία δομή του ατόμου (Μάθημα 1^ο)

(e-class.uoa.gr)



Δομή του ατόμου

(ατομικό πρότυπο του N. Bohr, E. Rutherford)

Πρωτόνιο

θετικά φορτισμένο σωματίδιο

$$m = 1,67252 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

$$q = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Νετρόνιο

ηλεκτρικά ουδέτερο σωματίδιο

$$m = 1,6749 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

$$q = 0 \text{ C}$$

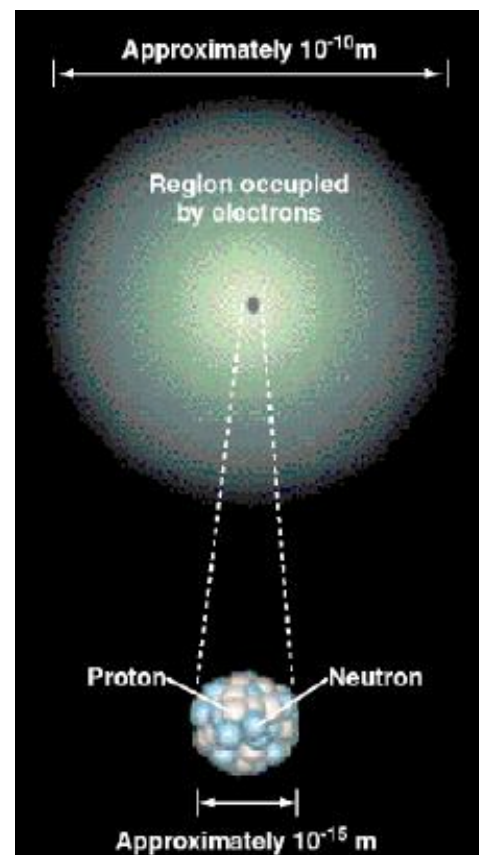
Ηλεκτρόνιο

αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο

$$m = 9,1093897 \cdot 10^{-28} \text{ g}$$

$$q = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Πυρήνας



1

Βασική ορολογία

Ατομικός αριθμός (Z): ο αριθμός των θετικά φορτισμένων σωματιδίων στον πυρήνα (πρωτονίων). Σε ηλεκτρικά ουδέτερα άτομα, αντιπροσωπεύει επίσης τον αριθμό των ηλεκτρονίων.

Μαζικός αριθμός (A): Ο αριθμός των νουκλεονίων, δηλαδή το άθροισμα των πρωτονίων (Z) και των νετρονίων (N):

$$A = Z + N$$

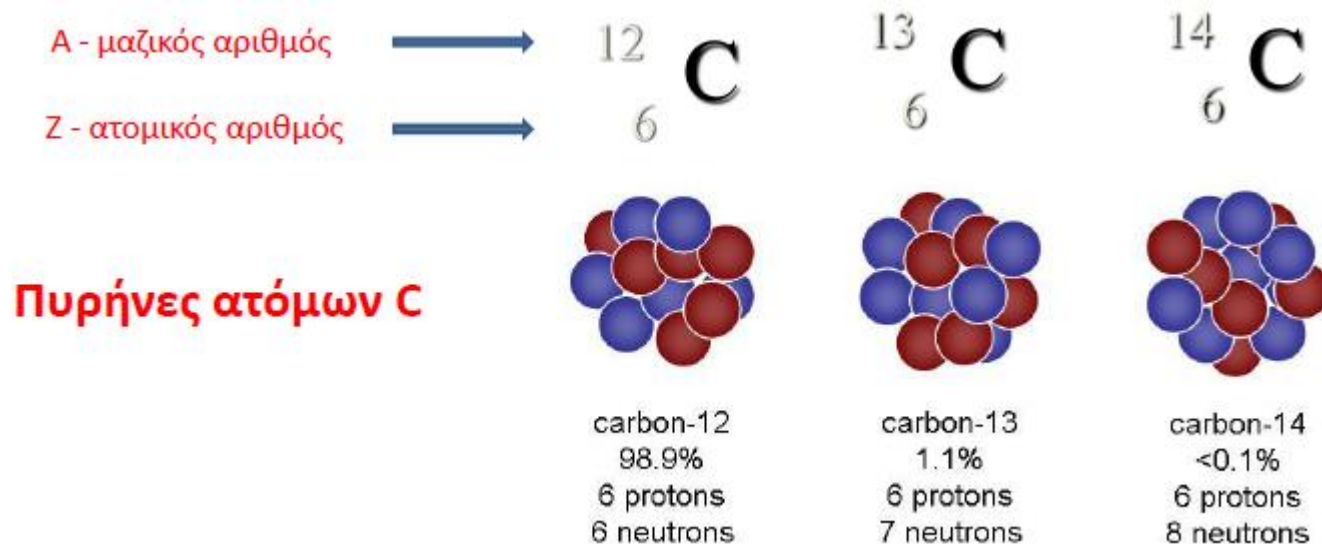
Δεν ισοδυναμεί με την συνολική μάζα του ατόμου αλλά μάλλον αντιπροσωπεύει έναν ακέραιο αριθμό που προσεγγίζει τη μάζα, όπως αυτή εκφράζεται σε atomic mass units (amu).



Βασική ορολογία

Ισότοπα: Άτομα του ίδιου στοιχείου, των οποίων οι πυρήνες έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (Z), αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων (\neq μαζικό αριθμό - A).

Τα ισότοπα έχουν όμοιες χημικές ιδιότητες και μετρώνται με τη χρήση φασματογράφου μάζας. Τα περισσότερα στοιχεία έχουν τουλάχιστον 2 φυσικά ισότοπα.



2



ΙΣΟΤΟΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

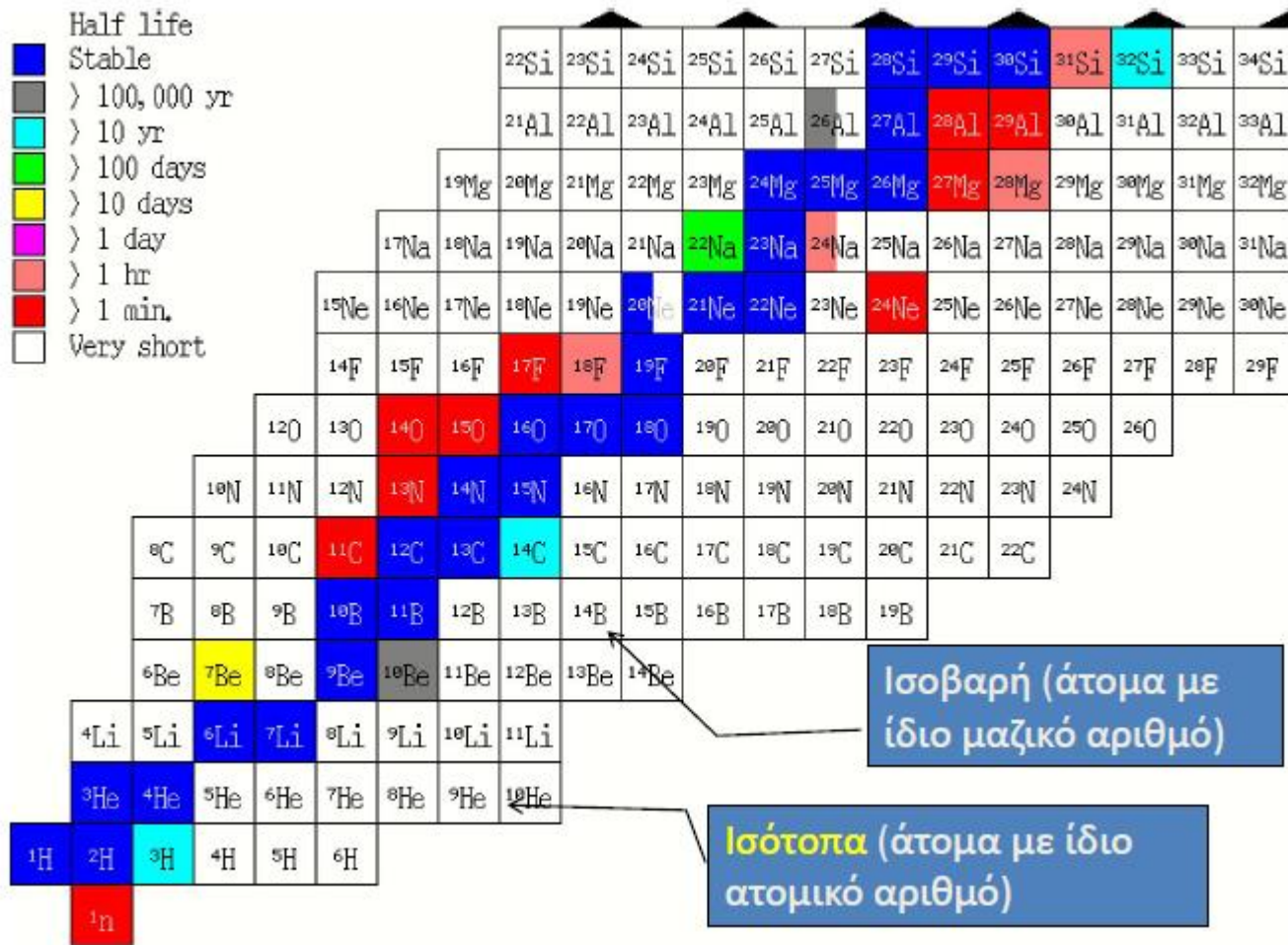
Ίδιο ατομικό αριθμό (Z), διαφορετικό μαζικό αριθμό A (# αριθμό νετρονίων).

Γενικός τύπος ισotόπου: ${}^{14}_6\text{C}$

1	1																	18
	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub						

3





ΙΣΟΤΟΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

- Τα περισσότερα στοιχεία στην φύση έχουν τουλάχιστο δύο ισότοπα.
- Σταθερά ισότοπα (Stable isotopes):
 - δεν διασπώνται (χρόνος ημιζωής $\rightarrow \infty$)
 - μόνο 21 στοιχεία έχουν 1 σταθερό ισότοπο, πχ. *Na, Al, Mn, Nb*.
- Ραδιενεργά ισότοπα (radiogenic isotopes): διασπώνται προς ένα σταθερό ισότοπο
 - υπάρχουν περισσότερα από 1200 ραδιενεργά ισότοπα




Ο Φασματογράφος Μάζας

- Προηγήθηκε η ανακάλυψη της ραδιενέργειας
 - **(1914) J.J. Thomson** (Nobel prize of physics)
 - **(1918) Aston** (Nobel prize of chemistry)

 -μεγάλες βελτιώσεις της τεχνικής
 - **(1968) Arians & Compston**
 - **(1969) Wasserburg *et al.***
- } εξερεύνηση σελήνης



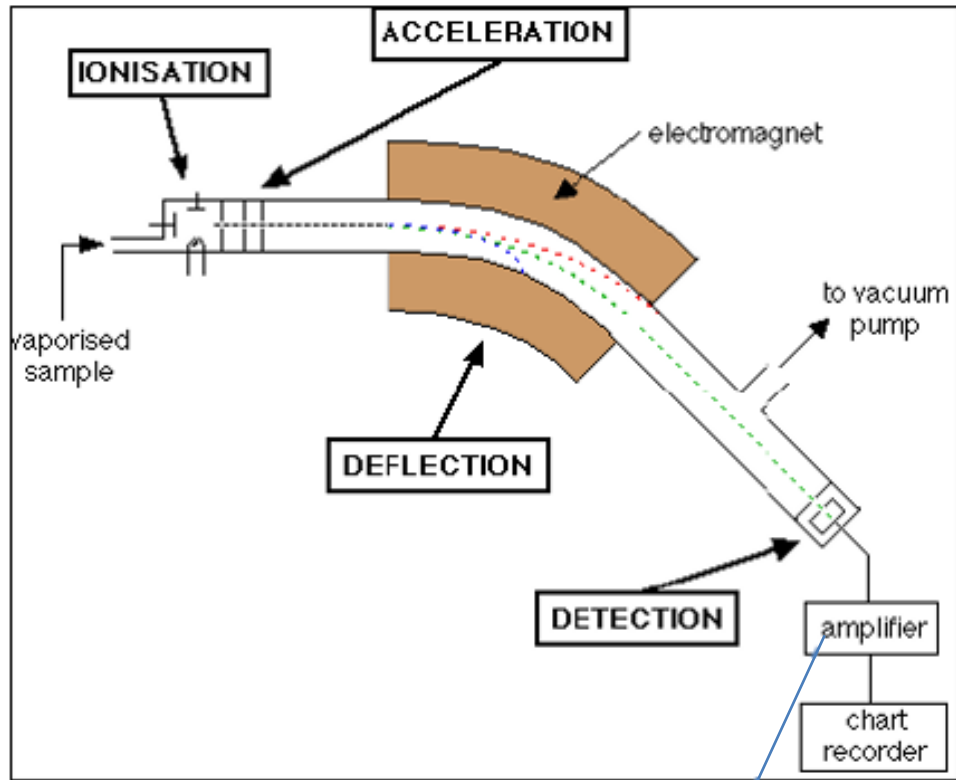
Αρχή του Φασματογράφου Μάζας

- Άτομα του στοιχείου → **ιονίζονται** (σε συνθήκες κενού)
- → τα ιόντα **επιταχύνονται** σε ένα **ηλεκτρικό πεδίο**, δημιουργώντας $\Delta V = 3 - 20 \text{ kV}$.
- → δημιουργείται **ρεύμα ιόντων** (ηλ. ρεύμα)
- → ρεύμα διέρχεται μέσα από ένα **ζεύγος μαγνητών** (μαγνητικό πεδίο)
- → επιδρούν μαγνητικές δυνάμεις κάθετα στο ρεύμα ιόντων → το ρεύμα από ευθεία τροχιά αποκτά καμπύλη τροχιά
- → οι τροχιές των ελαφρών ιόντων καμπυλώνουν περισσότερο απ' ότι των βαρύτερων ιόντων
-  ανάλογα με την τροχιά τους τα ιόντα **ταξινομούνται** με βάση τη μάζα τους
- η **σχετική αφθονία των διαφόρων ισοτόπων** μπορεί να μετρηθεί από τις σχετικές τιμές των ηλεκτρικών ρευμάτων που παρήχθησαν από κάθε ρεύμα ιόντων, τα οποία διαχωρίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο (**Σχήμα 1**) V

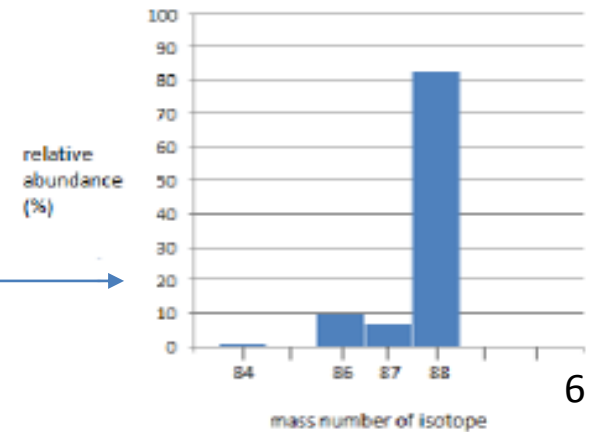


Φασματογράφος Μάζας

Αρχή λειτουργίας της μεθόδου



The mass spectrum for strontium

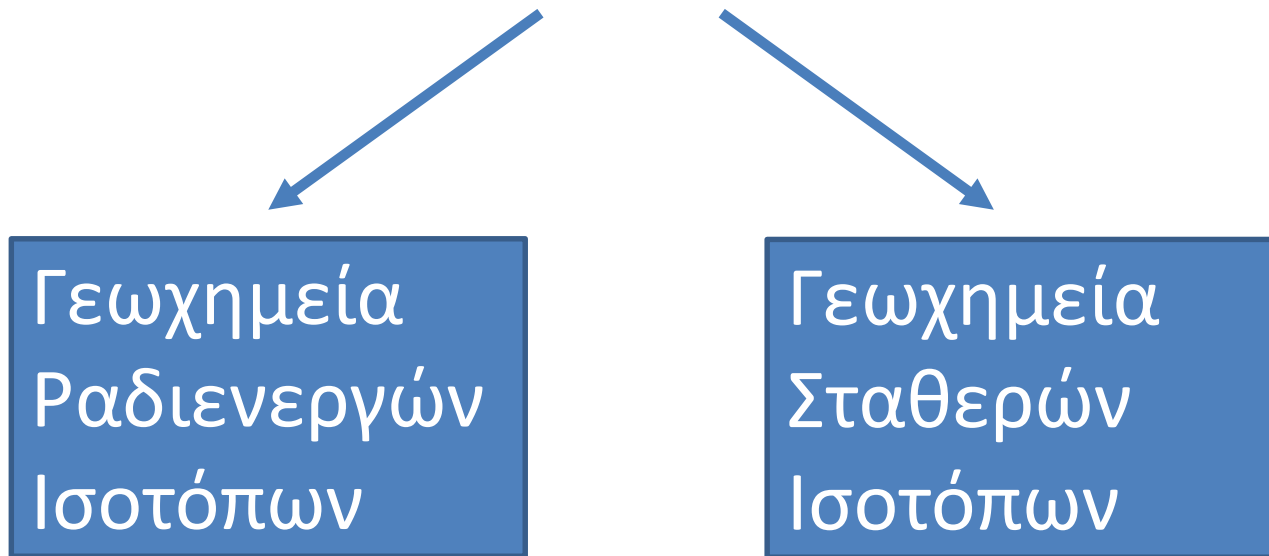


Μετατρέπει τη μέτρηση σε ηλεκτρικό σήμα

5

6

Ισοτοπική Γεωχημεία



Χρήσεις των ισοτόπων στη Γεωχημεία

- Προσδιορισμό απόλυτης ηλικίας (γεωχρονολόγηση)
- Δείκτες (ιχνηλάτες - tracers) των γεωλογικών διεργασιών
 - Διεργασίες σχηματισμού και εξέλιξης των μαγμάτων (τα ισότοπα αντιπροσωπεύουν το «γενετικό αποτύπωμα» της πηγής του μάγματος)
 - Θερμοκρασίες κρυστάλλωσης των μαγμάτων
 - Θερμική ιστορία των ορυκτών (εφαρμογές στις διεργασίες μεταμόρφωσης & τεκτονικής)



1. Εφαρμογές των Ραδιενεργών Ισοτόπων

Κύριες εφαρμογές της γεωχημείας ραδιενεργών ισοτόπων :

1. Γεωχρονολόγηση

Κάνει χρήση της **σταθερότητας του ρυθμού της ραδιενεργού διάσπασης** ραδιενεργών ατόμων προς ένα σταθερό (θυγατρικό) άτομο.



Καθορίζεται η **ηλικία** σχηματισμού ενός πετρώματος απλά προσδιορίζοντας (με μετρήσεις) **πόσα ραδιενεργά άτομα έχουν παραμείνει αδιάσπαστα.**



1. Εφαρμογές των Ραδιενεργών Ισοτόπων

2. Μελέτες ιχνηλάτησης.

Οι μελέτες αυτές κάνουν χρήση των **διαφορών στην αναλογία του ραδιογενούς προς τα άλλα σταθερά ισότοπα ενός στοιχείου**, στα διάφορα τμήματα της γης. Οι διαφορές αυτές είναι αποτέλεσμα των διεργασιών διαφοροποίησης στο εσωτερικό και στην επιφάνεια της γης.

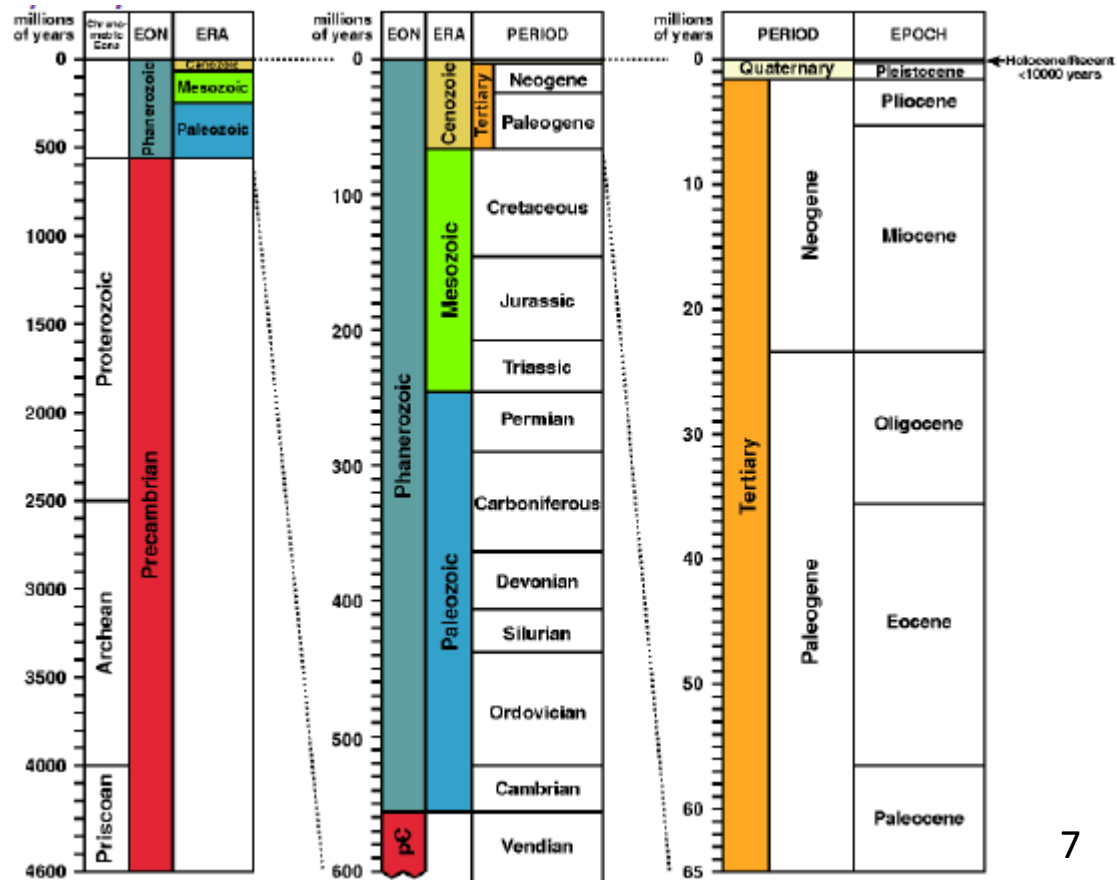


Κάνουμε χρήση των φυσικών «χρωστικών» ουσιών, τα ραδιενεργά ισότοπα, για να διερευνήσουμε τις θεμελιώδεις διεργασίες της Γης → **μας δίνουν πληροφορίες προέλευσης των συστατικών** ενός συστήματος.



Κλίμακα του γεωλογικού χρόνου

Ο αρχικός διαχωρισμός Αιώνες – Εποχές – Περιόδους, ήταν ποιοτικός (μέχρι το τέλος του 19ου αι.)
 Ο απόλυτος προσδιορισμός της ηλικίας, έγινε μετά την ανακάλυψη της ραδιενέργειας, στα τέλη 1800/αρχές 1900)





8

(A) Arthur Holmes ca. 1910, ο θεμελιωτής της σύγχρονης ραδιοχρονολόγησης. Έγραψε το βιβλίο, «The Age of Earth»



9

(B) Frederick Soddy ca. 1922, ως λέκτορας στο Πανεπιστήμιο της Glasgow, ανακάλυψε ότι ένα ραδιενεργό στοιχείο μπορεί να έχει περισσότερες από μια ατομικές μάζες, αλλά οι χημικές του ιδιότητες παραμένουν ίδιες.



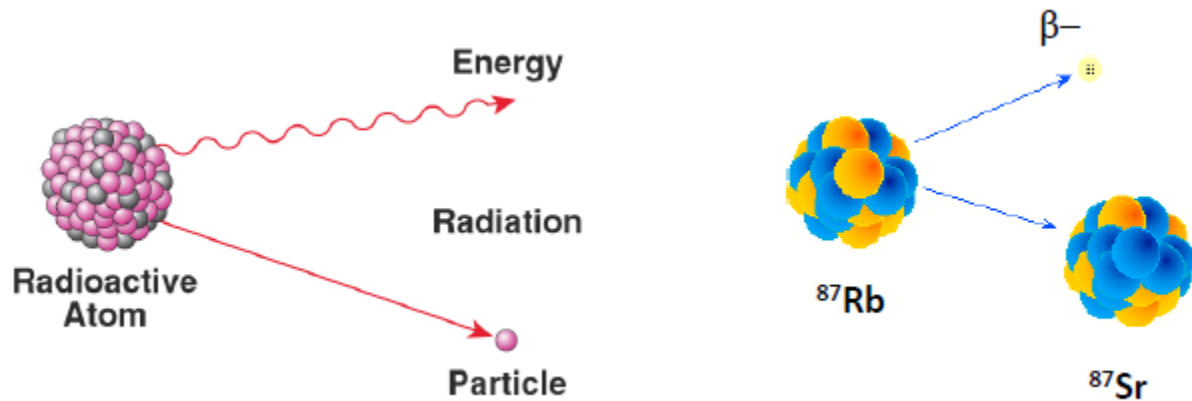
Ραδιενέργεια

- **Ανακαλύφθηκε** και μελετήθηκε την περίοδο **1896 – 1902** από τους:
 - 1) **H. Becquerel**
 - 2) **Pierre & Marie Curie**
- Οι **E. Rutherford – F. Soddy – P. Curie** διατύπωσαν μια πολύ απλή μαθηματική εξίσωση για την **ραδιενεργή διάσπαση**



Ραδιενέργεια

Είναι το φαινόμενο, ένα πλήθος πυρήνων (nuclei) αυθόρμητα να διασπασθεί προς άλλους πυρήνες με ταυτόχρονη εκπομπή σωματιδίων ή ακτινοβολίας (radiation). Έτσι ικανοποιείται η Αρχή της Διατήρησης της Ενέργειας και Μάζας (A. Einstein).



10

Ραδιενέργεια

Μονάδα μέτρησης της ραδιενέργειας (activity):

curies ($1\text{Ci} = 3.7 \cdot 10^{10}$ διασπάσεις/sec)

Συνήθως μετράμε millicurie, microcurie

Διεθνής μονάδα μέτρησης σήμερα,

becquerel ($1\text{Ci} = 37$ gigabecquerels)



Νόμος Ραδιενεργούς Διάσπασης (ή Νόμος Curie-Rutherford-Soddy CRS)

$$dN / dt = -\lambda N \quad (1)$$

λ , σταθερά ραδ. διάσπασης, ορίζει την πιθανότητα ένα πλήθος ατόμων (N) να διασπαθεί σε ένα διάστημα χρόνου dt (μονάδες μέτρησης του λ , είναι t^{-1})

λN : λέγεται ενέργεια – activity, και είναι ο αριθμός διασπάσεων στη μονάδα του χρόνου. Δεν εξαρτάται από την πίεση, θερμοκρασία ή το είδος του υλικού.

Ολοκληρώνοντας την (1) προκύπτει:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_{t_0}^t -\lambda dt$$

N_0 , αριθμός ατόμων του ραδιενεργούς ισοτόπου, που υπάρχουν στο χρόνο $t=0$.



Νόμος Ραδιενεργούς Διάσπασης

- Το ολοκλήρωμα της (2) είναι:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (2)$$

$$N/N_0 = e^{-\lambda t} \quad \text{ή} \quad N = N_0 e^{-\lambda t}$$

- **Χρόνος ημιζωής $t_{1/2}$** = χρόνος που απαιτείται για να διασπαστούν τα μισά άτομα από τα αρχικά, δηλαδή $N/N_0 = 1/2$. Αντικαθιστώντας στην (2), $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$



Γενική διατύπωση της εξίσωσης της ραδιενεργούς διάσπασης

$$\mathbf{D} = \mathbf{D}_0 + \mathbf{N}(e^{\lambda t} - \mathbf{1}) \quad (3)$$

\mathbf{D} : θυγατρικά (σταθερά) άτομα

\mathbf{D}_0 : άτομα που προϋπήρχαν σε χρόνο $t=0$

παράγοντας: $\mathbf{N}(e^{\lambda t} - \mathbf{1})$ πόσα θυγατρικά άτομα παρήχθησαν λόγω ραδιενεργούς διάσπασης σε χρόνο t)

Επιλύοντας την εξ. (3) ως προς t :

(υπολογισμός του χρόνου, εάν όλες οι άλλες μεταβλητές είναι γνωστές)

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\mathbf{D} - \mathbf{D}_0}{\mathbf{N}} + \mathbf{1} \right] \quad (4)$$



Ζεύγη ραδιενεργών-σταθερών ισοτόπων που χρησιμοποιούνται για γεωχρονολόγηση

Parent / daughter pair	Decay mechanism	λ (yr ⁻¹)*	(a) Half-life (yr) (b) Effective range for geochronology (yr)	Typical samples
²³⁸ U / ²⁰⁶ Pb	Decay chain 8 α^+ + 6 β^-	1.55×10^{-10}	(a) 4.47×10^9 (b) $T - 10^7$	Zircon, badellyite, uraninite, monazite, Pb-bearing minerals
²³⁵ U / ²⁰⁷ Pb	Decay chain 7 α^+ + 4 β^-	9.85×10^{-10}	(a) 7.04×10^8 (b) $T - 10^7$	Zircon, badellyite, uraninite, monazite, Pb-bearing minerals
²³² Th / ²⁰⁸ Pb	Decay chain 6 α^+ + 4 β^-	4.95×10^{-11}	(a) 1.40×10^{10} (b) $T - 10^7$	Zircon, badellyite, uraninite, monazite, Pb-bearing minerals
⁸⁷ Rb / ⁸⁷ Sr	β^-	1.42×10^{-11}	(a) 4.88×10^{10} (b) $T - 10^7$	K-feldspar, mica, whole rock
⁴⁰ K / ⁴⁰ Ar	Electron capture	5.81×10^{-11}	(a) 1.19×10^{10} (b) $T - 10^3$	Sanidine, hornblende, plagioclase, mica, whole rock
¹⁴⁷ Sm / ¹⁴³ Nd	α^+	6.54×10^{-12}	(a) 1.06×10^{11} (b) $T - 0$	Pyroxene, amphibole, feldspars, whole rock
¹⁴ C / ¹⁴ N	β^-	1.21×10^{-4}	(a) 5.73×10^3 (b) 70,000 - 0	Charcoal, wood, peat
¹⁷⁶ Lu / ¹⁷⁶ Hf	β^-	1.94×10^{-11}	(a) 3.57×10^{10}	Apatite, zircon, garnet, monazite, whole rock
¹⁸⁷ Re / ¹⁸⁷ Os	β^-	1.64×10^{-11}	(a) 4.23×10^{10}	Molybdenite, osmiridium, laurite

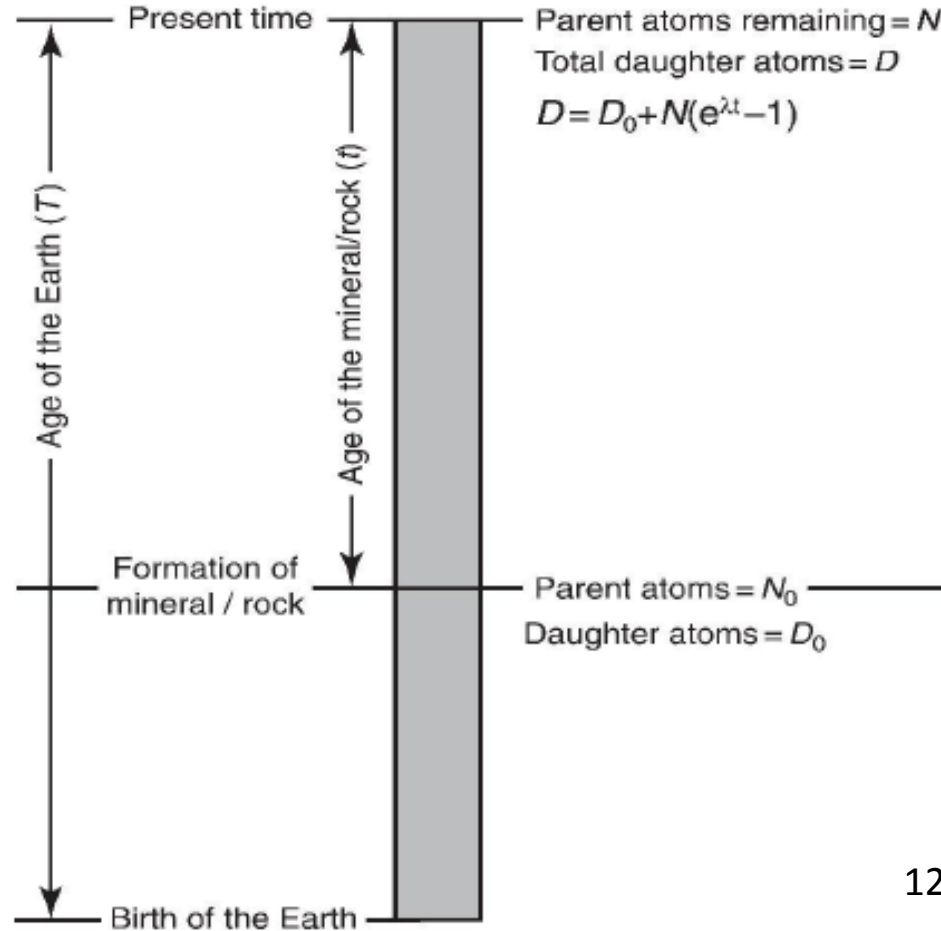
*Ages reported in the older literature may have been based on slightly different values of decay constants, and should be recalculated using the decay constants given above. T = age of the Earth.

Sources of data: compilations by Faure (1986), Dickin (1995), Brownlow (1996), and Banner (2004).

Table 10.2 Radioactive decay schemes commonly used for geochronology.



Σχηματική παρουσίαση της εξίσωσης της ραδιοχρονολόγησης



12

Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition. Kula C. Misra.
© 2012 Kula C. Misra. Published 2012 by Blackwell Publishing Ltd.



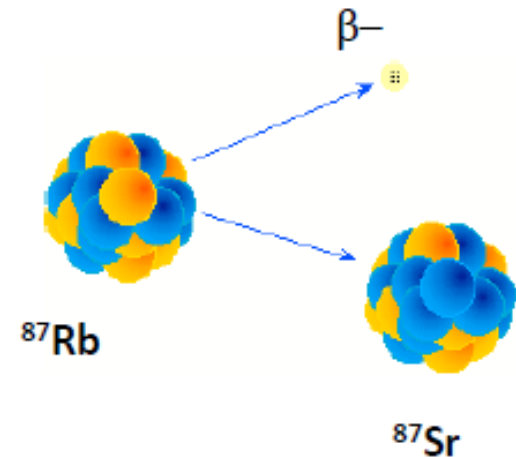
Ραδιενεργή διάσπαση & ραδιογενή (θυγατρικά) ισότοπα

Οι λόγοι των ραδιενεργών/σταθερών ισωτόπων είναι συναρτήσεις του χρόνου αλλά και του αρχικού λόγου ραδιενεργού/σταθερό ισότοπο.

Ζεύγη Ραδιενεργών-Ραδιογενών Ισωτόπων:

- ^{87}Rb - ^{87}Sr (half-life 48 Ga)
- ^{147}Sm - ^{143}Nd (half-life 106 Ga)
- ^{238}U - ^{206}Pb (half-life 4.5 Ga)
- ^{235}U - ^{207}Pb (half-life 0.7 Ga)
- ^{232}Th - ^{208}Pb (half-life 14 Ga)

“Εξαφανισμένα” ραδιονουκλίδια (ραδιενεργά άτομα) εκείνα που έχουν χρόνο ημιζωής πολύ μικρό για να επιβιώσουν μέχρι σήμερα (από το σχηματισμό της γης έως σήμερα = 4.55 Ga). Υπήρχαν όμως στο αρχικό ηλιακό μας σύστημα.

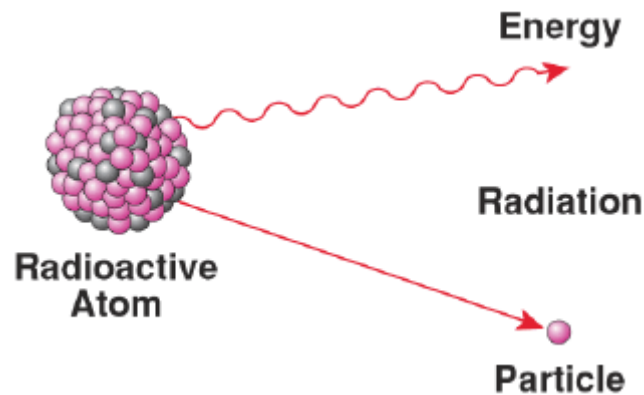


13

Ραδιενέργεια

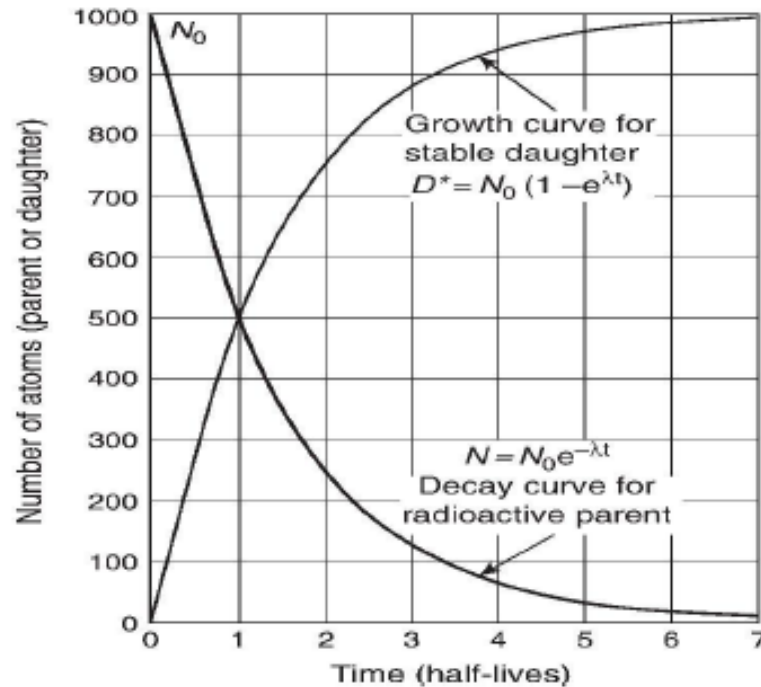
Είδη ραδιενεργών διασπάσεων

	Μηχανισμός διάσπασης	Ατομικός Αριθμός	Αριθμός νετρονίων	Μαζικός αριθμός
Ραδιενεργό (parent nuclide)		Z	N	A = Z + N
Ραδιογενές (Θυγατρικό)	α^{2+}	Z - 2	N - 2	A - 4
	β^- (negatron)	Z + 1	N - 1	A
	β^+ (positron)	Z - 1	N + 1	A
	σύλληψη e-	Z - 1	N + 1	A



14

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης της Ραδ. διάσπασης (εκθετική συνάρτηση)



Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition. Kula C. Misra. © 2012 Kula C. Misra. Published 2012 by Blackwell Publishing Ltd.

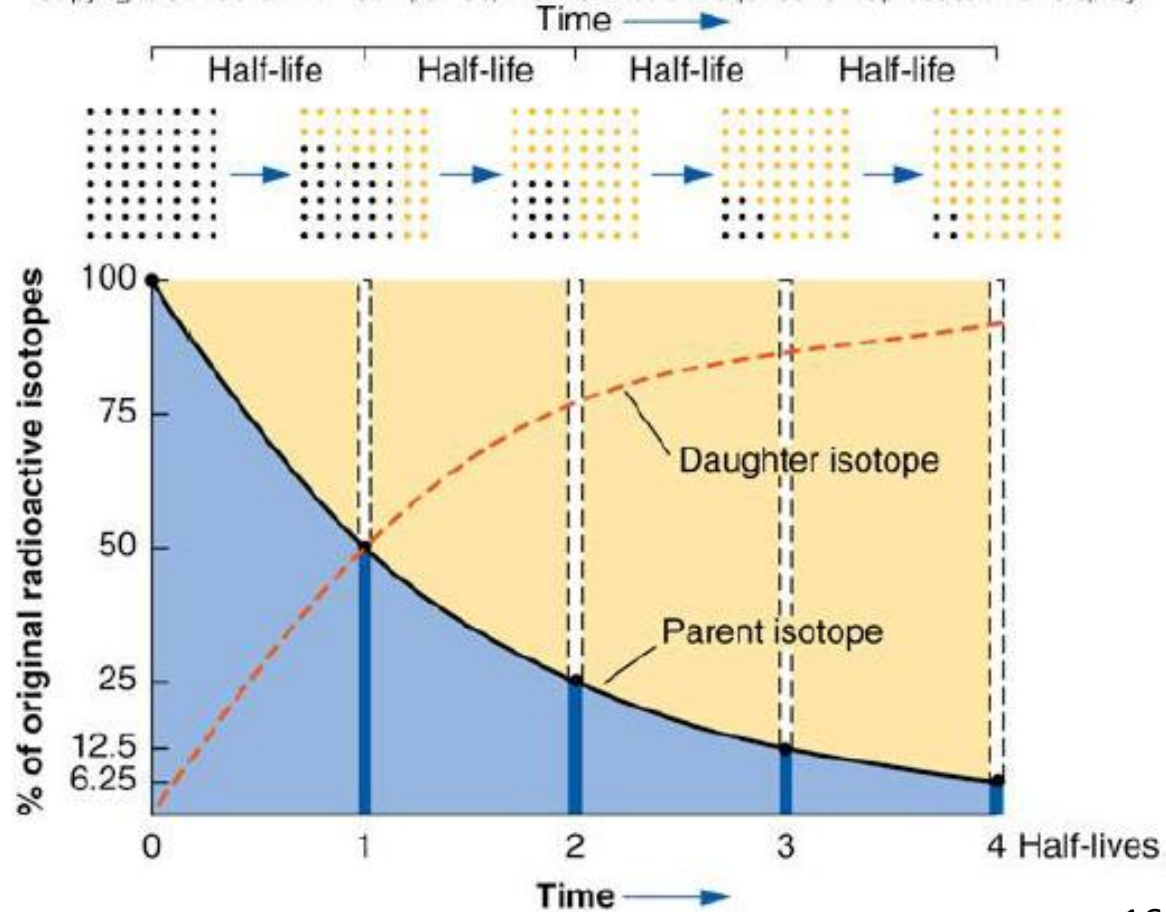
15

Fig. 10.1 The decay curve for a hypothetical population of 1000 radioactive atoms (N_0) as a function of time expressed in units of half-lives and the complementary growth curve representing the generation of atoms of a stable daughter by radioactive decay (D^*). Both the curves are asymptotic to the time axis.



Εκθετική Συνάρτηση χρόνος ημιζωής

Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



A

16

Σύστημα: Rb – Sr

Στοιχείο **Rb**.

Έχει 2 φυσικά ισότοπα: ${}_{37}^{87}\text{Rb}$ (αφθονία ατόμων 27.83 %) - **ραδιενεργό**
σταθερό ${}_{37}^{85}\text{Rb}$ (αφθονία ατόμων 72.16 % των ατόμων) -

Στοιχείο **Sr**.

Έχει 4 φυσικά ισότοπα: ${}_{38}^{88}\text{Sr}$ (αφθονία ατόμων 82.58%) - σταθερό
 ${}_{38}^{87}\text{Sr}$ (αφθονία ατόμων 7 %) - σταθερό
 ${}_{38}^{86}\text{Sr}$ (αφθονία ατόμων 9.86%) - σταθερό
 ${}_{38}^{84}\text{Sr}$ (αφθονία ατόμων 0.56% - σταθερό

Ραδιενεργή διάσπαση ${}^{87}\text{Rb} \rightarrow {}^{87}\text{Sr}$ + σωματίδια β^-

Μέθοδος **χρονολόγησης Rb-Sr ορυκτών** που περιέχουν **Rb** ή **ολικό πέτρωμα**,
βασίζεται στη **Ραδιενεργή διάσπαση**

${}^{87}\text{Rb} \rightarrow {}^{87}\text{Sr}$ + σωματίδια β^-

$$\lambda_{\text{Rb}} = 1.42 * 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$$



Μέθοδος χρονολόγησης Rb – Sr

Βασική εξίσωση: $D = D_0 + N (e^{\lambda t} - 1)$

$${}^{87}\text{Sr} = {}^{87}\text{Sr}_0 + {}^{87}\text{Rb}(e^{\lambda t} - 1)$$

Κανονικοποιούμε την εξίσωση, διαιρώντας με το σταθερό ισότοπο ${}^{86}\text{Sr}$, για να προκύψουν λόγοι ισοτόπων:

$${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr} = ({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_0 + {}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}(e^{\lambda t} - 1)$$

Όπου $({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_0$, αντιπροσωπεύει τον λόγο των αρχικών συγκεντρώσεων ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ στο ορυκτό ή στο πέτρωμα σε χρόνο = 0



Ισόχρονη γραμμή Rb – Sr

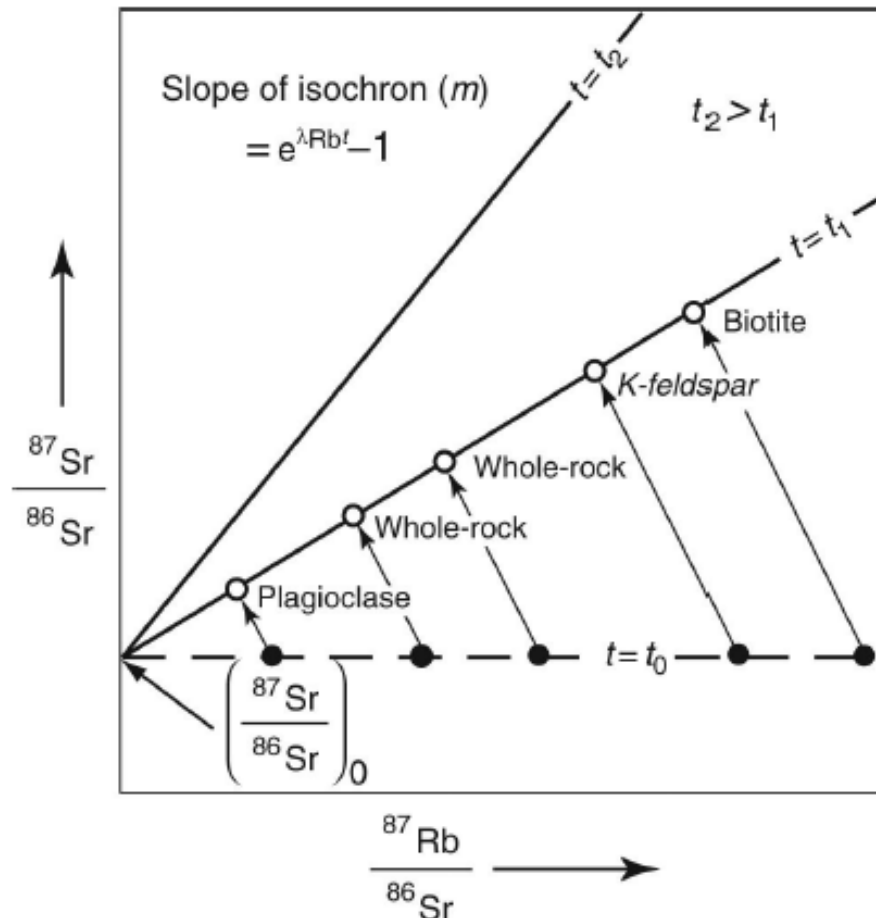


Fig. 10.4 Schematic Rb–Sr isochron diagram for two different suites of comagmatic igneous minerals and whole-rocks. The two suites are of different age (t_1 and t_2) but formed from homogeneous magmas having the same initial strontium ratio. The horizontal line is also an isochron (t_0), representing the time when the minerals and rocks had the same initial ratio and no radiogenic ^{87}Sr . The arrows indicate the generation of radiogenic ^{87}Sr by the decay of ^{87}Rb over the time period t_1 . The radiogenic ^{87}Sr is proportional to the ^{87}Rb originally present in the sample. Note that the $\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0$ of a comagmatic suite can be approximated by the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of a sample with a very low concentration of ^{87}Rb .

17

Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition. Kula C. Misra.
© 2012 Kula C. Misra. Published 2012 by Blackwell Publishing Ltd.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Χριστίνα Στουραϊτή 2015. Χριστίνα Στουραϊτή. «Γεωχημεία. Γεωχημικές διεργασίες στο εσωτερικό της γης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL2/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Δομή του ατόμου και ατομικό πρότυπο του N. Bohr, E. Rutherford. Copyrighted.

Εικόνα 2: Ισότοπα άνθρακα. Copyrighted.

Εικόνα 3: Περιοδικός πίνακας. Copyrighted.

Εικόνα 4: Ισοβαρή και ισότοπα. Copyrighted.

Εικόνα 5: Αρχή λειτουργίας φασματογράφου μάζας. CC BY-NC-SA. Σύνδεσμος: http://chemwiki.ucdavis.edu/Analytical_Chemistry/Instrumental_Analysis/Mass_Spectrometry/How_the_Mass_Spectrometer_Works. Πηγή: chemwiki.ucdavis.edu



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/3)

Εικόνα 6: The mass spectrum for strontium. CC BY-NC-SA. Σύνδεσμος: http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Atomic_Theory/Isotopes. Πηγή: chemwiki.ucdavis.edu

Εικόνα 7: Κλίμακα του γεωλογικού χρόνου. Copyright A. McRae 1998. Σύνδεσμος: http://sdsu-physics.org/NaturalScience100/Topics/2Earth/1amazing_earth.html. Πηγή: sdsu-physics.org

Εικόνα 8: Arthur Holmes ca. 1910. Copyrighted.

Εικόνα 9: Frederick Soddy ca. 1922. Copyrighted.

Εικόνα 10: Διάσπαση πυρήνων. Copyrighted.

Εικόνα 11: Radioactive decay schemes commonly used for geochronology. Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/3)

Εικόνα 12: Σχηματική παρουσίαση της εξίσωσης της ραδιοχρονολόγησης. Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή: Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition, Kula C. Misra.

Εικόνα 13: Ραδιενεργή διάσπαση ^{87}Rb . Copyrighted.

Εικόνα 14: Ραδιενεργή διάσπαση. Copyrighted.

Εικόνα 15: Γραφική παράσταση εξίσωσης ραδιενεργούς διάσπασης. Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή: Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition, Kula C. Misra.

Εικόνα 16: Εκθετική Συνάρτηση - χρόνος ημιζωής. Copyright McGraw-Hill Companies, Inc.

Εικόνα 17: Ισόχρονη γραμμή Rb – Sr. Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή: Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition, Kula C. Misra.

