

Η ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C - Οδηγίες χρήσης



Γενικά

Η εκκίνηση της εφαρμογής «Η ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C » γίνεται με διπλό κλικ στο αρχείο «C14.html». Η εφαρμογή περιλαμβάνει έξι ενότητες. Η 1^η 2^η 3^η και 5^η ενότητα καλύπτουν το θεωρητικό μέρος, ενώ η 4^η και 6^η ενότητα καλύπτουν τα υπολογιστικά μέρη της εφαρμογής.

H ραδιενεργός διάσπαση

Η ραδιενεργός διάσπαση είναι μια πυρηνική αντίδραση κατά την οποία ένας πυρήνας διασπάται αυθόρμητα εκπέμποντας ακτινοβολία. Στον επόμενο πίνακα δίνονται πληροφορίες για τα είδη ραδιενεργού διάσπασης και τις ακτινοβολίες που εκπέμπονται.

Είδη ραδιενεργών διασπάσεων		
Όνομα	Περιγραφή	Παράδειγμα
Διάσπαση α	Διάσπαση πυρήνα και εκπομπή πυρήνα He ή σωματιδίου αλφα (ακτινοβολία α)	$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$
Διάσπαση β ⁺	Διάσπαση πυρήνα και εκπομπή ποζιτρονίου ή σωματιδίου β ⁺	$^{95}_{43}\text{Tc} \rightarrow ^{95}_{42}\text{Mo} + ^0_1\text{e}^+$
Διάσπαση β ⁻	Διάσπαση πυρήνα και εκπομπή ηλεκτρονίου ή σωματιδίου β ⁻	$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}^-$
Διάσπαση γ	Διάσπαση διεγερμένου πυρήνα και εκπομπή σωματιδίου γ (ακτινοβολία γ)	$^{222}_{86}\text{Rn}^* \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + \gamma$

Στην αρχή είναι ενεργοποιημένη η ενότητα «Ραδιενεργός διάσπαση» και εμφανίζεται η παραπάνω οθόνη όπου μπορείτε να μελετήσετε τις διάφορες μορφές της ραδιενεργού διάσπασης.

Ρυθμός ραδιενεργού διάσπασης και χρόνος ημιζωής

Σε ένα δείγμα ραδιενεργού στοιχείου ο αριθμός των πυρήνων ελαττώνεται επειδή διασπώνται. Ο ρυθμός ραδιενεργού διάσπασης ενός δείγματος ραδιενεργού υλικού, δηλαδή ο αριθμός των πυρήνων που διασπώνται στη μονάδα χρόνου σε κάθε χρονική στιγμή (t), είναι ανάλογος του αριθμού των πυρήνων που υπάρχουν στο δείγμα τη στιγμή t (N_t), δηλαδή:

$$\text{Ρυθμός} = -\Delta N / \Delta t = -\lambda N_t$$

όπου λ είναι η σταθερά ραδιενεργού διάσπασης, που είναι χαρακτηριστική παράμετρος κάθε ραδιενεργού πυρήνα. Η απόλυτη τιμή του ρυθμού διάσπασης ονομάζεται **ενεργότητα του δείγματος**. Μονάδα ενεργότητας είναι το **1 Becquerel (1 Bq)** που ορίζεται ως μια διάσπαση ανά δευτερόλεπτο (1 Bq = 1 διάσπαση / s). Η ενεργότητα ανά γραμμαρίο δείγματος καλείται **ειδική ενεργότητα** και μετράται σε μονάδες **Bq/g**. Στο σχήμα φαίνεται η μεταβολή του αριθμού των πυρήνων που απομένουν αδιάσπαστοι μετά από χρόνο t. Ο αριθμός των πυρήνων σε χρόνο t = 0 είναι N₀. Η μαθηματική μορφή της καμπύλης είναι:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

Ο **χρόνος ημιζωής (T_{1/2})** είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο αριθμός των ραδιενεργών πυρήνων να μειωθεί στο μισό του αρχικού αριθμού τους (N₀/2). Αυτά σημαίνει, όπως φαίνεται και από το σχήμα, ότι στα χρονικά σημεία T_{1/2}, 2T_{1/2}, 3T_{1/2} και 4T_{1/2}, ο αριθμός των πυρήνων που παραμένουν αδιάσπαστοι είναι N₀/2, N₀/4, N₀/8 και N₀/16 αντίστοιχώς, κ.ο.κ.

Αν στην παραπάνω σχέση αντικαταστήσουμε N_t = N₀/2 και t = T_{1/2}, προκύπτει:

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad \text{ή} \quad 1/2 = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

από όπου με λογαριθμισμό προκύπτει η σχέση που συνδέει τη σταθερά διάσπασης και το χρόνο ημιζωής, δηλαδή:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda$$

Επιλέγοντας την ενότητα «Βαθμός ραδιενεργού διάσπασης και χρόνος ημιζωής», εμφανίζεται η παραπάνω οθόνη. Στην ενότητα αυτή μπορείτε να πληροφορηθείτε για την σημασία των εννοιών της ενεργότητας, της ειδικής ενεργότητας και του χρόνου ημιζωής.

Η ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C

Ο ^{14}C στη φύση

Η ανώτερη ατμόσφαιρα της γης βομβαρδίζεται συνεχώς από κοσμικές ακτινοβολίες (πρωτόνια, σωματίδια α, κ.α.) με αποτέλεσμα την παραγωγή άλλων σωματιδίων όπως τα νετρόνια (^1_0n). Τα νετρόνια συγκρούονται με τον πυρήνα του πιο άφθονου ισότοπου του αζώτου ($^{14}_7\text{N}$) και παράγεται ένας ραδιενεργός πυρήνας του ισότοπου άνθρακα-14, σύμφωνα με την πυρηνική αντίδραση:

$$^{14}_7\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{H}$$

Με τη σειρά του ο ραδιενεργός πυρήνας του άνθρακα-14 διασπάται, σύμφωνα με την πυρηνική αντίδραση:

$$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}$$

Ο άνθρακας-14 έχει ημiperίοδο ζωής ίση με 5730 έτη.

Λόγω της σταθερού ρυθμού παραγωγής άνθρακα-14 και της σταθερού ρυθμού διάσπασής του, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε άνθρακα-14 είναι σταθερή. Έτσι, ένα μικρό αλλά σταθερό κλάσμα του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) περιέχει άνθρακα-14 και όχι άνθρακα-12.

Τα ζωντανά φυτά χρησιμοποιούν διαρκώς το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και έτσι η περιεκτικότητά του οργανισμού τους σε άνθρακα-14 είναι σταθερή και ίση με αυτή της ατμόσφαιρας. Τα ζώα επίσης, εφόσον τρέφονται με φυτά, διατηρούν επίσης στον οργανισμό τους την ίδια μικρή αλλά σταθερή περιεκτικότητα σε άνθρακα-14.

Επιλέγοντας την 3^η ενότητα, δηλ. «Ο ^{14}C στη φύση» εμφανίζεται η παραπάνω οθόνη. Στην ενότητα αυτή μπορείτε να ενημερωθείτε για τον τρόπο που σχηματίζεται ο ^{14}C στην φύση και για την σταθερότητα που εμφανίζει το ποσοστό του σε σχέση με τον ^{12}C .

Η ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C

Μελέτη ρυθμού διάσπασης του ^{14}C

Δεδομένα

Ο χρόνος ημιζωής του ^{14}C είναι: 5730 έτη

Περιγραφή προβλήματος

Καθορίστε τον αρχικό ρυθμό διάσπασης του δείγματος....

Αρχική ενεργότητα δείγματος: Bq

Καθορίστε το χρόνο που πέρασε και επιλέξτε "Υπολογισμός ενεργότητας".....

Χρόνος που πέρασε: έτη

Υπολογισμός

Αποτέλεσμα

Επιλέγοντας την 4^η ενότητα, δηλ. «Μελέτη ρυθμού διάσπασης του ^{14}C » εμφανίζεται η παραπάνω οθόνη, η οποία χωρίζεται σε τέσσερις τομείς.

Στον πρώτο τομέα αυτής της ενότητας που έχει τίτλο «Δεδομένα», εμφανίζεται ο χρόνος ημιζωής του ^{14}C που είναι 5730 χρόνια.

Ο δεύτερος τομέας έχει τίτλο «Περιγραφή προβλήματος». Στον τομέα μπορείτε να ορίσετε την αρχική ενεργότητα του δείγματος και τον χρόνο που πέρασε. Για τον ορισμό των δεκαδικών ψηφίων πρέπει να χρησιμοποιείται η τελεία (.) και όχι το κόμμα (,)

Στον τρίτο τομέα που έχει τίτλο «Υπολογισμός», μπορείτε πιέζοντας το κουμπί «Υπολογισμός ενεργότητας» να βρείτε την ηλικία του δείγματος.

Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στον τελευταίο τομέα της ενότητας αυτής που έχει τίτλο «Αποτέλεσμα».

Την παραπάνω διαδικασία μπορείτε να την επαναλάβετε όσες φορές θέλετε, αλλάζοντας τα

δεδομένα.

Η ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C

Μέθοδος ραδιοχρονολόγησης με ^{14}C

Όπως είδαμε, στην ατμόσφαιρα και τον οργανισμό των ζωντανών φυτών και ζώων διατηρείται η ίδια μικρή αλλά σταθερή περιεκτικότητα σε άνθρακα-14. Συγκεκριμένα τα τελευταία 50.000 έτη, δηλαδή μια περίοδο που καλύπτει σαφώς την ανθρώπινη ιστορία και την προϊστορία, περίπου 1 στα 770.000.000.000 άτομα άνθρακα είναι άνθρακα-14.

Με άλλα λόγια οποιοδήποτε δείγμα της ατμόσφαιρας ή ζωντανού οργανισμού έχει μια σταθερή ειδική ενεργότητα, που οφείλεται στον άνθρακα-14, ίση περίπου με 15.3 διασπάσεις ανά λεπτό και ανά γραμμάριο δείγματος ή 0.255 Βα/γ.

Τι γίνεται όμως όταν ένας οργανισμός (αυτό ή ζώο) πεθάνει;

Όταν ένας ζωντανός οργανισμός πεθάνει, σταματάει να προσλαμβάνει αλλά και να αποβάλλει άνθρακα. Έτσι, η αναλογία του άνθρακα-14 ως προς τον συνολικό άνθρακα αρχίζει να ελαττώνεται σαν αποτέλεσμα της διάσπασης του άνθρακα-14 και της μη ανανέωσής του. Μετρώντας σήμερα την ειδική ενεργότητα ενός δείγματος (ξύλινου άνθρακα από αρχαίες εστίες, οστά, περγαμινές ή άλλα αρχαιολογικά εύρημα προερχόμενα από οργανική ύλη) θα τη βρούμε μειωμένη. Στη συνέχεια με απλό τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλικία του δείγματος με βάση τη γνωστή ειδική ενεργότητα των δειγμάτων ζωντανών οργανισμών (0.255 Βα/γ) και το χρόνο ημιζωής του άνθρακα-14 (5730 έτη).

Πώς γίνεται ο υπολογισμός;

Ας υποθέσουμε ότι σε δείγμα βάρους 0.4 g από ένα οστόν που ανακαλύφθηκε σε ένα σπήλαιο βρέθηκε ότι η ενεργότητα που οφείλεται στον άνθρακα-14 είναι 0.080 Βα (μετρήθηκαν 4.8 διασπάσεις το λεπτό). Η ειδική ενεργότητα του δείγματος είναι 0.080 Βα / 0.4 g = 0.200 Βα/γ.

Από τις σχέσεις $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$ και $T_{1/2} = 0.693 / \lambda$ προκύπτει με λογαρίθμηση:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow N_t / N_0 = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln(N_t / N_0) = -\lambda t \Rightarrow t = (T_{1/2} / 0.693) \ln(N_0 / N_t)$$

Ο λόγος του αρχικού αριθμού πυρήνων (N_0) προς τον αριθμό των πυρήνων σήμερα (N_t) ισούται με το λόγο της ειδικής ενεργότητας του οστού τότε, που ανήκε σε ζωντανό οργανισμό (0.255 Βα/γ), προς αυτόν σήμερα (0.200 Βα/γ). Επίσης ο χρόνος ημιζωής του άνθρακα-14 είναι 5730 έτη. Συνεπώς, η ηλικία του οστού είναι:

$$t = (5730 / 0.693) \ln(0.255 / 0.200) \text{ έτη} = 9585 \text{ έτη.}$$

Στην 5^η ενότητα που έχει την παραπάνω μορφή και τίτλο «Μέθοδος ραδιοχρονολόγησης με ^{14}C » παίρνετε πληροφορίες για το ποσοστό του ^{14}C σε ζώντες και νεκρούς οργανισμούς. Επίσης στην ενότητα αυτή υπάρχει ένα παράδειγμα για τον τρόπο που μπορεί να υπολογισθεί η ηλικία ενός οστού.

Ραδιοχρονολόγηση δείγματος με ^{14}C

Δεδομένα

Η ειδική ενεργότητα του ατμοσφαιρικού άνθρακα είναι: Βα/γ

Ο χρόνος ημιζωής του ^{14}C είναι: έτη

Περιγραφή δείγματος

Καθορίστε τη μάζα και το ρυθμό διασπάσεων του δείγματος και επιλέξτε "Υπολογισμός ειδικής ενεργότητας" ...

Μάζα δείγματος: g Ενεργότητα δείγματος: Βα

Υπολογισμός

Υπολογισμός ειδικής ενεργότητας δείγματος

Ειδική ενεργότητα δείγματος: Βα/γ

Υπολογισμός ηλικίας δείγματος

Αποτέλεσμα

Επιλέγοντας την τελευταία ενότητα της εφαρμογής με τίτλο «Ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C » εμφανίζεται η παραπάνω οθόνη, η οποία χωρίζεται σε τέσσερις τομείς.

Στον πρώτο τομέα αυτής της ενότητας που έχει τίτλο «Δεδομένα», υπάρχουν τα δεδομένα της

ραδιοχρονολόγησης, δηλ. ο χρόνος ημιζωής που είναι για τον ^{14}C είναι 5730 χρόνια και η ειδική ενεργότητα του ατμοσφαιρικού άνθρακα που είναι 0,255 Bq/g.

Ο δεύτερος τομέας έχει τίτλο «Περιγραφή δείγματος». Στον τομέα αυτό έχετε δύο επιλογές:

- Να ορίσετε εσείς την μάζα και την ενεργότητα του δείγματος, οπότε πατώντας το κουμπί «Υπολογισμός ειδικής ενεργότητας δείγματος», εμφανίζεται η ειδική ενεργότητα του δείγματος.
- Να αγνοήσετε τα κελιά της μάζας και της ενεργότητας του δείγματος, να αγνοήσετε επίσης και το κουμπί «Υπολογισμός ειδικής ενεργότητας δείγματος» και να τοποθετήσετε κατευθείαν την ειδική ενεργότητα του δείγματος.

Ανεξάρτητα του τρόπου που θα εισάγετε τα δεδομένα είναι αυτονόητο ότι το τελικό αποτέλεσμα της ειδικής ενεργότητας του δείγματος πρέπει να είναι μεγαλύτερο του μηδενός και μικρότερο του 0,255 Bq/g.

Επίσης για τον ορισμό των δεκαδικών ψηφίων πρέπει να χρησιμοποιείται η τελεία (.) και όχι το κόμμα (,)

Στον τρίτο τομέα της ενότητας αυτή που έχει τίτλο «Υπολογισμός», μπορείτε, με δεδομένη την ενεργότητα του δείγματος, πιέζοντας το κουμπί «Υπολογισμός της ηλικίας του δείγματος» να δείτε την ηλικία του δείγματος.

Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στον τελευταίο τομέα της ενότητας αυτής που έχει τίτλο «Αποτέλεσμα».

Είναι αυτονόητο ότι και αυτή την διαδικασία μπορείτε να την επαναλάβετε όσες φορές θέλετε, και με όσες παραλλαγές θέλετε. Μπορείτε δηλαδή να αλλάζετε την μάζα και την ενεργότητα του δείγματος ή να ορίζετε κατευθείαν την ειδική ενεργότητα του δείγματος και κατόπιν να υπολογίζετε την ηλικία του δείγματος.