

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ


- Να γνωρίσετε τα βασικά συστατικά ενός πυρήνα.
- Να μάθετε τις τρεις ραδιενεργές διασπάσεις καθώς και τον εκθετικό νόμο που ισχύει σε αυτές.
- Να μάθετε τρόπους με τους οποίους μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ραδιενεργές διασπάσεις για χρονολόγηση.





ΔΟΜΗ, ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ

ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Ο όρος πυρήνας (nucleus) εισάγεται το 1912 από τον Rutherford.
- Κάθε άτομο αποτελείται από μια περιορισμένη περιοχή όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος της μάζας και το θετικό του φορτίο, **τον πυρήνα, ο οποίος περιβάλλεται από** μια κατανομή ηλεκτρονίων. 

ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Προσεγγιστικός υπολογισμός μεγέθους ατόμων από 1880:
Διάμετρος ατόμου $10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$.
- Υπολογισμός Rutherford για την ακτίνα του πυρήνα: $R = 4,9 \cdot 10^{-14} \text{ m}$.
- Ο πυρήνας είναι περίπου 10.000 φορές μικρότερος από το άτομο.

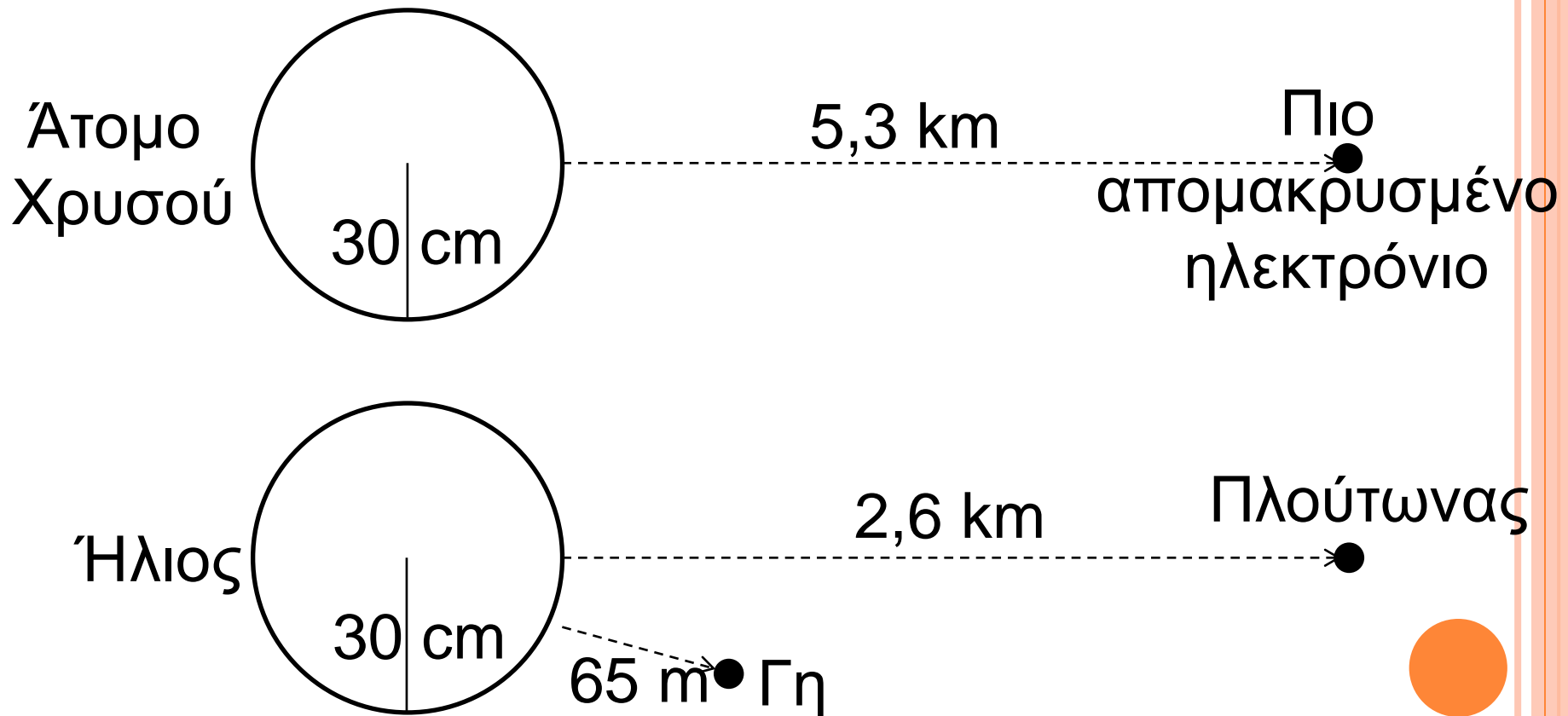


ΜΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΑ

- Μπορεί να γίνει κατανοητό, το πόσο μικρός είναι ο πυρήνας από την ακόλουθη σύγκριση ενός ατόμου και του Ηλιακού μας συστήματος, αν προσπαθήσουμε να τα φέρουμε στην ίδια κλίμακα.



ΜΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΑ



ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- 1920, Rutherford προτείνει το όνομα **ΠΡΩΤΟΝΙΟ (proton)** από την ελληνική λέξη *πρώτος*
- Μάζα πρωτονίου: 1836 φορές του ηλεκτρονίου.



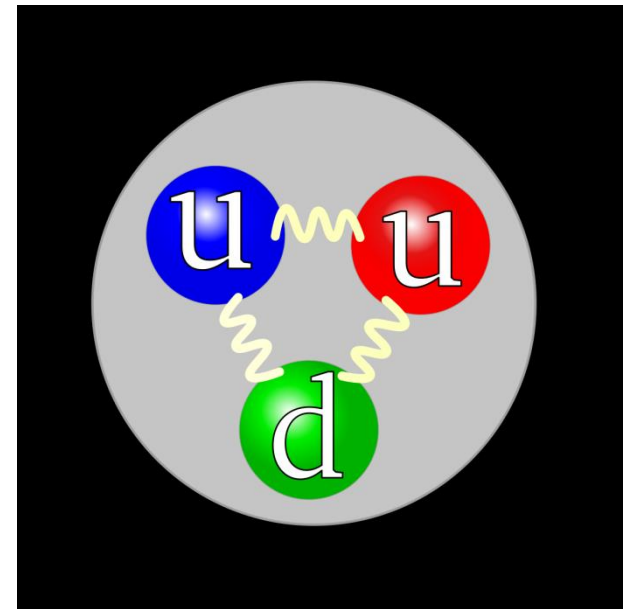
ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Φορτίο πρωτονίου θετικό, ακριβώς όσο και ηλεκτρονίου.
- Φορτίο για άτομο υδρογόνου ουδέτερο με ακρίβεια 22 δεκαδικών ψηφίων.
- Εντυπωσιακή ισότητα φορτίου πρωτονίου ηλεκτρονίου.
- Το πρωτόνιο δεν είναι στοιχειώδες αλλά έχει δομή.



ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Αποτελείται από τρία quarks που όπως θα δούμε αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.



ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του αντίστοιχου ουδέτερου ατόμου και ονομάζεται **ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ, Z.**



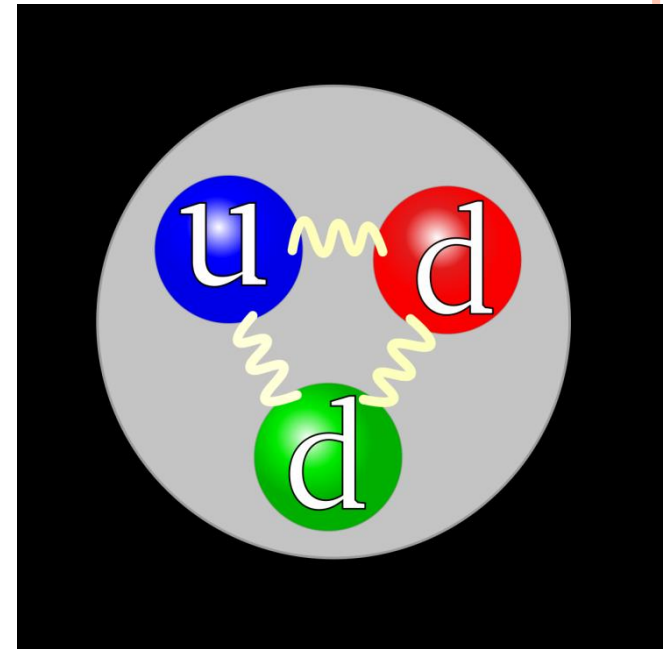
ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Υπάρχει ακόμα ένα ουδέτερο σωματίδιο με μάζα περίπου αυτή του πρωτονίου.
- Δεν υπάρχουν e^- στον πυρήνα.



ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Το νετρόνιο είναι ένα σύνθετο σωματίδιο, όπως το πρωτόνιο, αποτελούμενο και αυτό από τρία quarks.
- Έχει μάζα 1839 φορές τη μάζα του ηλεκτρονίου.




ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- W. Heisenberg: Όλοι οι πυρήνες αποτελούνται **αποκλειστικά** από νετρόνια (N = πλήθος νετρονίων) και πρωτόνια (Z =πλήθος πρωτονίων).
- Ο συνολικός αριθμός πρωτονίων και νετρονίων είναι ο **μαζικός αριθμός** (A):

$$A=Z+N$$



ΣΧΗΜΑ ΠΥΡΗΝΑ

- Πειράματα σκέδασης αποκαλύπτουν ότι οι περισσότεροι πυρήνες έχουν ένα κατά προσέγγιση σφαιρικό σχήμα.
 - Στα πειράματα αυτά εκτοξεύουμε εναντίον πυρήνων σωματίδια (π.χ. ηλεκτρόνια) με πολύ μεγάλη ενέργεια.
 - Παρατηρώντας το πώς αυτά σκεδάζονται από τους πυρήνες μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για το σχήμα και τις διαστάσεις του πυρήνα.
 - Ο πρώτος που εκτέλεσε ένα τέτοιο πείραμα ήταν ο Rutherford.
- 

ΑΝΑΛΟΓΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΚΕΔΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΜΒΑΔΟΥ

- Για να γίνει κατανοητό το σημείο αυτό μπορεί να εκτελέσετε το εξής πείραμα.



ΜΙΑ ΙΔΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΑΖΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ

- Για τον μαζικό αριθμό, που είναι ακέραιος, ισχύει ότι δείχνει κατά προσέγγιση την μάζα του πυρήνα σε amu.

$$m_{\text{πυρήνα}} = Zm_p + Nm_n \xrightarrow{m_p \approx m_n} m_{\text{πυρήνα}} = (Z + N)m_p \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{\text{πυρήνα}} = Am_p \xrightarrow{m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}$$

$$\Rightarrow m_{\text{πυρήνα}} = 1,67 \cdot 10^{-27} A \xrightarrow{1 \text{ amu} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}$$

$$\Rightarrow m_{\text{πυρήνα}} = A \text{ (amu)}$$



ΑΚΤΙΝΑ ΠΥΡΗΝΑ

- Η ακτίνα του πυρήνα συνδέεται με τον μαζικό αριθμό A με την προσεγγιστική σχέση:

$$R = R_0 \cdot A^{1/3}$$

όπου $R_0 = 1,2 \text{ fm} = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.



ΑΣΚΗΣΗ

- Εξηγήστε γιατί η πυκνότητα των πυρήνων είναι κατά προσέγγιση σταθερή και υπολογίστε αυτή την σταθερή τιμή πυκνότητας. Σχολιάστε το αποτέλεσμα.



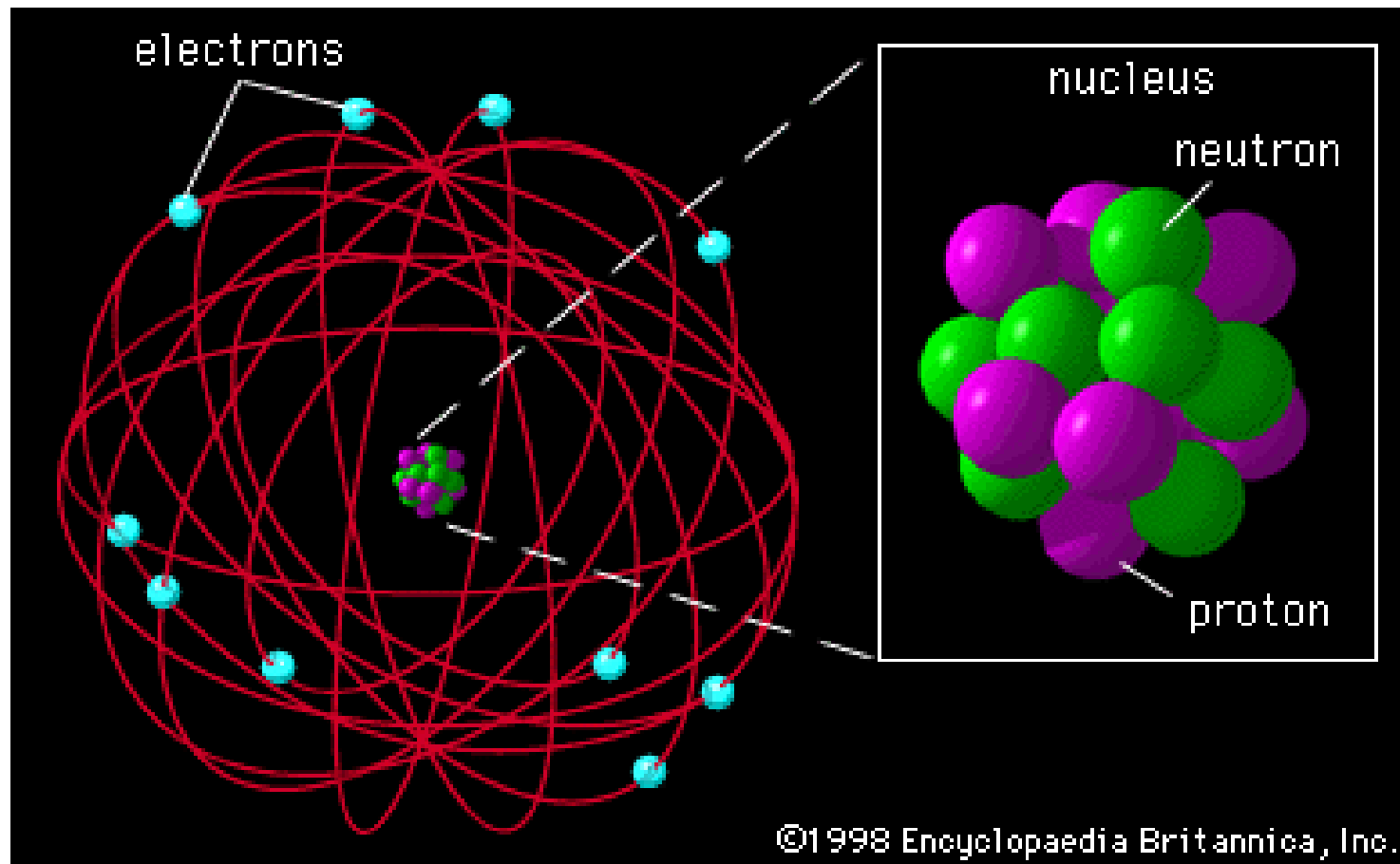
ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

- Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ως αποκλειστικά συστατικά του πυρήνα (nucleus) αποδίδονται με το κοινό όνομα **ΝΟΥΚΛΕΟΝΙΑ**.



ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ

○ Σχηματικά



ΠΥΡΗΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ Ή ΝΟΥΚΛΙΔΙΟ


- Τα στοιχεία συμβολίζονται ως:



- Π.χ το ουράνιο ${}^{238}_{92}U$ έχει 92 πρωτόνια και 146 νετρόνια, δηλ. μαζικό αριθμό $A = 238$.



ΙΣΟΤΟΠΑ

- Ο ατομικός αριθμός Z είναι χαρακτηριστικός του ατόμου κάθε στοιχείου και καθορίζει τη θέση του στο περιοδικό σύστημα.
 - Ο ατομικός αριθμός καθορίζει τις χημικές ιδιότητες του ατόμου, επειδή ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που υπάρχουν στο ουδέτερο άτομο.
- 

ΙΣΟΤΟΠΑ

- Όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου δεν έχουν απαραίτητως τον ίδιο αριθμό νετρονίων στον πυρήνα τους.
- Επομένως μπορεί να έχουν διαφορετικό μαζικό αριθμό A .



ΙΣΟΤΟΠΑ

- Τα στοιχεία με ίδιο ατομικό αριθμό Z και διαφορετικό μαζικό A , δηλαδή με διαφορετικό αριθμό νετρονίων N στον πυρήνα, ονομάζονται **ισότοπα** γιατί καταλαμβάνουν τον ίδιο «τόπο» του περιοδικού συστήματος.
- Ισότοπα ενός στοιχείου μπορεί να υπάρχουν στη φύση ή να είναι τεχνητά.



ΙΣΟΤΟΠΑ

- Για τον άνθρακα υπάρχουν συνολικά 15 ισότοπα (από C-8 έως C-22).
- Μόνο 2 είναι σταθερά (C-12 και C-13).
- Μόνο τρία υπάρχουν στη φύση (C-12, C-13 και C-14).



ΙΣΟΤΟΠΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

- Τα 3 ισότοπα του Υδρογόνου ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$, εμφανίζουν σημαντικές διαφορές και κατ' εξαίρεση έχουν τα δικά τους ονόματα.
- Το κοινό Υδρογόνο ${}^1_1\text{H}$ ($Z = 1$, $A = 1$) είναι το ελαφρότερο και το συνηθέστερο (99.985%) ισότοπο.



ΙΣΟΤΟΠΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

- Το **Δευτέριο** ${}^2_1\text{H}$ με ένα επιπλέον νετρόνιο εμφανίζεται αρκετά σπάνια (0.015%). Για κάθε 6.500 άτομα κοινού υδρογόνου υπάρχει μόνο 1 άτομο δευτερίου.
- Το ραδιενεργό **Τρίτιο** ${}^3_1\text{H}$ με ακόμη ένα νετρόνιο είναι μακράν το λιγότερο άφθονο (για κάθε 10^{18} άτομα υδρογόνου υπάρχει ένα άτομο τριτίου).



ΙΣΟΤΟΠΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

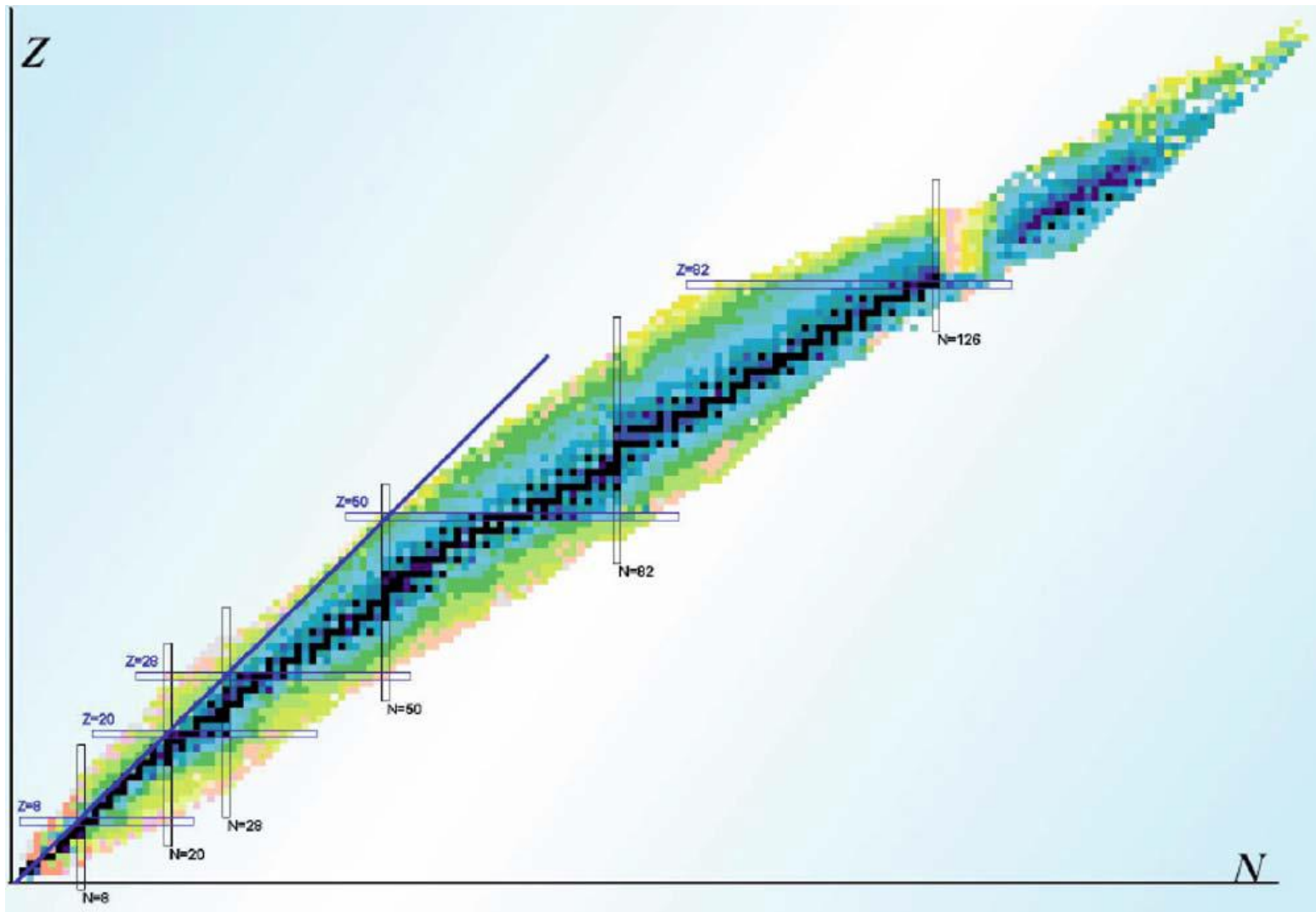
- Εξαιτίας της τεράστιας διαφοράς που παρουσιάζουν τα ισότοπα αυτά ως προς τη μάζα τους δεν είναι περίεργο ότι εμφανίζουν διαφορές στις φυσικές τους ιδιότητες.



ΝΟΥΚΛΙΔΙΑ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

- Στη φύση υπάρχουν περίπου 270 σταθερά νουκλίδια και πολλά ασταθή.
- Συνολικά έχουν ταυτοποιηθεί περισσότερα από 2500 νουκλίδια
- Οι ατομικοί αριθμοί κυμαίνονται από 1 έως 92 (στο εργαστήριο έχουμε φθάσει μέχρι 118).
- Στο επόμενο διάγραμμα φαίνονται τα σταθερά νουκλίδια που υπάρχουν και η σχέση Z και N .

ΣΤΑΘΕΡΑ ΝΟΥΚΛΙΔΙΑ





ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΠΥΡΗΝΩΝ

ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΜΑΖΑΣ

- Αν μετρήσουμε την μάζα των συστατικών ενός πυρήνα και την μάζα του ίδιου του πυρήνα διαπιστώνουμε ότι ισχύει $m_{\text{συστατικών}} > m_{\text{πυρήνα}}$.



ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΜΑΖΑΣ


- Η διαφορά αυτών των μαζών ονομάζεται έλλειμμα μάζας και δίνεται ως

$$\Delta m = m_{\text{συστατικών}} - m_{\text{πυρηνά}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{πυρηνά}}$$



ΣΧΕΣΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Πως συμβιβάζεται αυτό το έλλειμμα μάζας με τη διατήρηση της μάζας;
 - Για να γίνει κατανοητό χρειάζεται να προσφύγουμε στην εξίσωση $E = mc^2$ που διατυπώθηκε από τον Einstein.
 - Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή, η ενέργεια και η μάζα, με την έννοια της αδράνειας, δεν είναι ανεξάρτητες ποσότητες, αλλά αποτελούν διαφορετικά μέτρα της ίδιας ποσότητας με συντελεστή μετατροπής το c^2 .
- 

ΣΧΕΣΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Ο ρόλος του c^2 ως μετατροπέα φαίνεται από τις μονάδες αφού ισχύει ότι:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ m} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$



ΣΧΕΣΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Σύμφωνα με την ιδέα αυτή ΚΑΘΕ ΜΑΖΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΕ ΜΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΚΑΘΕ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΧΕΙ ΜΙΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΑΖΑ.



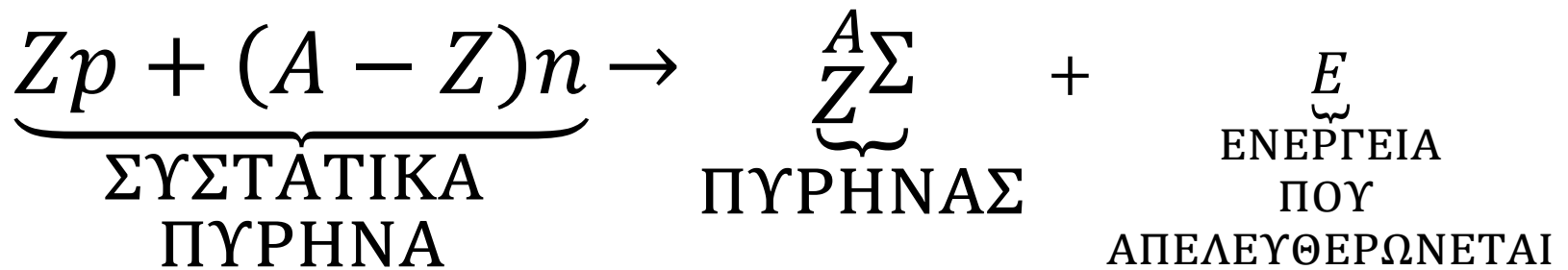
Ο ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ ΣΥΝΟΔΕΥΕΤΑΙ ΑΠΟ ΕΚΚΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Η δεύτερη ιδέα που μας χρειάζεται για να εξηγήσουμε την φαινόμενη κατάρρευση της διατήρησης της ενέργειας είναι ότι καθώς σχηματίζεται ένας πυρήνας από τα συστατικά του απελευθερώνεται ενέργεια.



ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΜΑΖΑΣ

- Ας θεωρήσουμε λοιπόν μια αντίδραση σχηματισμού ενός πυρήνα όπως η ακόλουθη:



ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΜΑΖΑΣ

- Αυτό που συμβαίνει λοιπόν είναι ότι η ενέργεια (E) που απελευθερώνεται φέρει κάποια μάζα ($m = E/c^2$), η οποία αν ληφθεί υπόψη η διατήρηση της μάζας αποκαθίσταται.
- Ισχύει δηλαδή ότι

$$Zm_p + (A - Z)m_n = m_{\pi\nu\rho} + \frac{E}{c^2}$$



ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΜΑΖΑΣ

- Η προηγούμενη εξίσωση, που εκφράζει τη διατήρηση της μάζας μπορεί πολύ εύκολα να γραφτεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εκφράζει τη διατήρηση της ενέργειας στην μορφή:

$$Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2 = m_{\piυρ} c^2 + E$$



ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ & ΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Παρατηρούμε λοιπόν ότι η διατήρηση της μάζας και η διατήρηση της ενέργειας, που ήταν δύο διαφορετικοί νόμοι στην κλασική φυσική, μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα νέο νόμο διατήρησης που αφορά την υλο-ενέργεια.




ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

- Από οποιαδήποτε από τις δύο προηγούμενες εξισώσεις, που άλλωστε είναι ισοδύναμες, έχουμε:

$$Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2 = m_{\text{πυρ}} c^2 + E \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2 - m_{\text{πυρ}} c^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = \underbrace{\left(Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{πυρ}} \right)}_{\Delta m} c^2$$


ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ


- Τελικά λοιπόν:

$$E = E_B = \Delta mc^2$$

- Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά το σχηματισμό του πυρήνα ονομάζεται ενέργεια σύνδεσης (binding energy) E_B .

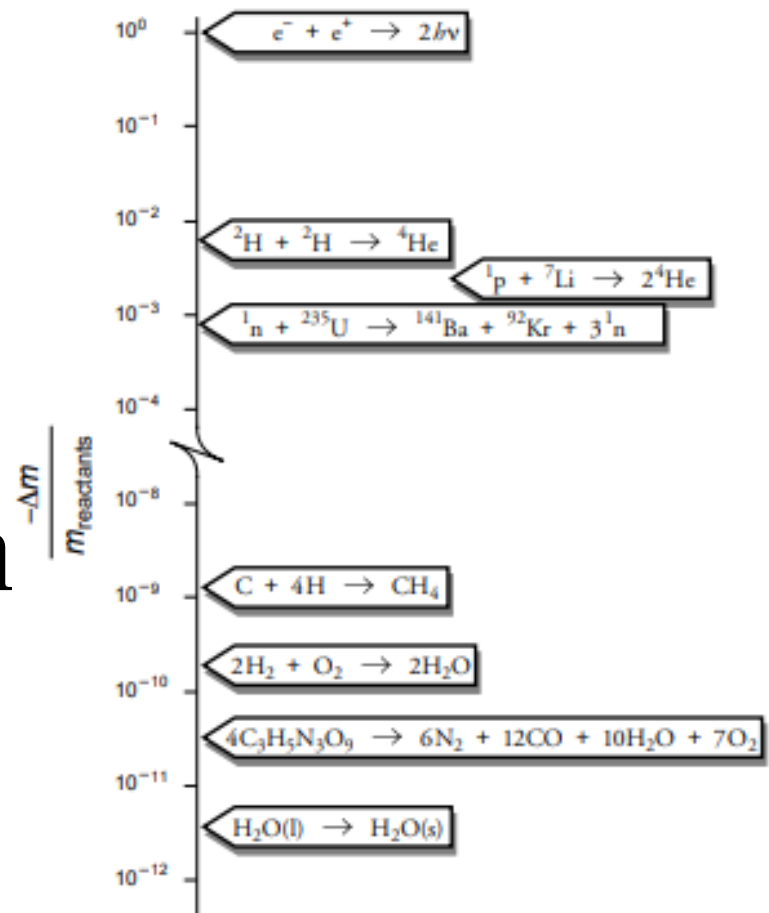


ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΗ ΟΠΤΙΚΗ

- Σε κάθε αντίδραση, ακόμα και στις χημικές αντιδράσεις, ισχύει η προηγούμενη ιδέα.
- Η διαφορά είναι ότι στις χημικές αντιδράσεις η παραγόμενη ενέργεια είναι πολύ μικρή, με συνέπεια η μάζα που μεταφέρει η ενέργεια αυτή $m = E/c^2$ και η οποία φεύγει από το σύστημα να είναι μικρή, οπότε και το έλλειμμα μάζας είναι πρακτικά μη ανιχνεύσιμο. 

ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΗ ΟΠΤΙΚΗ

- Το κρίσιμο σημείο είναι ο λόγος του ελλείμματος μάζας προς την μάζα των αντιδρώντων.
- Μια κατάταξη με βάση αυτό το λόγο φαίνεται στο διπλανό σχήμα.



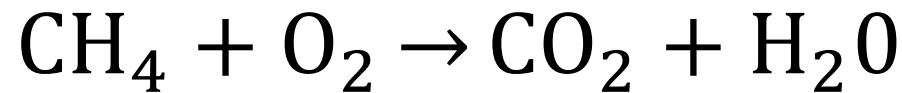
ΑΣΚΗΣΗ

- Υπολογίστε το έλλειμμα μάζας και την ενέργεια σύνδεσης για τον πυρήνα του δευτερίου που αποτελείται από ένα πρότονιο και ένα νετρόνιο. Στην συνέχεια βρείτε την ενέργεια σύνδεσης.
- Δίνεται $m_p = 1,007276 \text{ amu}$, $m_n = 1,008665 \text{ amu}$ $m_{\text{}^2_1\text{H}} = 2,013553 \text{ amu}$



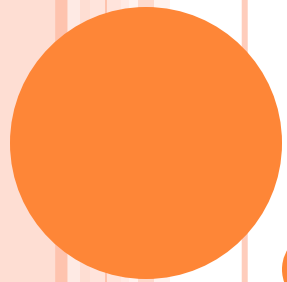
ΑΣΚΗΣΗ

- Θεωρήστε την χημική αντίδραση



που περιγράφει την καύση του μεθανίου κατά την οποία έχουμε $\Delta H = -890 \text{ kJ/mol}$. Υπολογίστε το έλλειμμα μάζας κατά την αντίδραση. Σχολιάστε το αποτέλεσμα.





ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

- Απωστική δύναμη Coulomb ($1/r^2$) μεταξύ πρωτονίου – πρωτονίου στον πυρήνα ≈ 50 N.
- **ΤΕΡΑΣΤΙΑ** για τις μικρές μάζες των πρωτονίων (Δεν θα μπορούσε να σχηματιστεί κανένας άλλος πυρήνας πέραν του Υδρογόνου ...).



ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

- Εκτός της απωστικής δύναμης Coulomb, τα νουκλεόνια βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και αυτή είναι μια ακόμα αιτία που τείνει να διαλύσει τους πυρήνες.



ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

- Μέσα στον πυρήνα υπάρχουν κι άλλες δυνάμεις που συγκρατούν τα νουκλεόνια. Αυτές είναι οι πυρηνικές δυνάμεις, που θεωρούνται μια από τις 4 βασικές αλληλεπιδράσεις στη φύση.



ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

- Πρόκειται για δύναμη μικρής εμβέλειας ($\sim 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$) καθώς μηδενίζεται για αποστάσεις πάνω από 4 fm .
- Δρα μόνο μεταξύ των νουκλεονίων.



ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

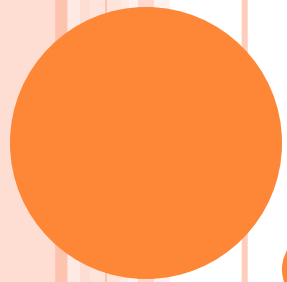
- Δεν κάνει διάκριση μεταξύ πρωτονίου, νετρονίου.
- Γίνεται απωστική σε αποστάσεις μεταξύ νουκλεονίων $< 0,5 \text{ fm}$ (δύο νουκλεόνια δεν μπορούν να καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο) και εξαρτώνται από το spin των αλληλεπιδρώντων σωματιδίων.



ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

- Η πυρηνική δύναμη είναι η πιο ισχυρή από όλες τις γνωστές αλληλεπιδράσεις (πρωτόνιο-πρωτόνιο στα 2 fm) είναι περίπου 100 φορές ισχυρότερη από την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση και 10^{34} φορές ισχυρότερη της βαρυτικής αλληλεπίδρασης.





ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΕΙΣ

- Οι μη σταθεροί πυρήνες μπορούν να διασπαστούν αυθόρμητα με δύο τρόπους δίνοντας άλλους πυρήνες (μεταστοιχείωση)
- Είναι οι διασπάσεις α , β (και γ).



ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΕΙΣ

- Σε κάθε περίπτωση ο αρχικός πυρήνας ονομάζεται ΜΗΤΡΙΚΟΣ και ο πυρήνας που προκύπτει ΘΥΓΑΤΡΙΚΟΣ.



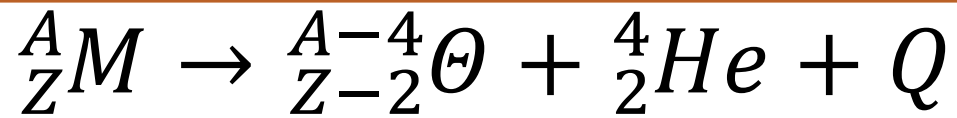
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΕΙΣ

- Σε κάθε ραδιενεργό διάσπαση, απελευθερώνεται ενέργεια (Q) είτε με τη μορφή κινητικής ενέργειας των σωματίων που προκύπτουν είτε με τη μορφή Η/Μ ακτινοβολίας.



ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΑΛΦΑ

- Σε αυτή εκπέμπεται ένας πυρήνας Ηλίου σύμφωνα με την:



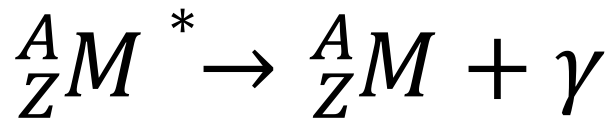
ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΒΗΤΑ

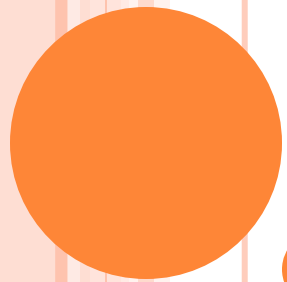
- Αυτή μπορεί να είναι διάσπαση β^- (εκπέμπεται ένα ηλεκτρόνιο e^-) ή διάσπαση β^+ (εκπέμπεται ένα ποζιτρόνιο e^+):



ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΓΑΜΜΑ

- Αυτή δεν είναι στην πραγματικότητα μεταστοιχείωση καθώς ο πυρήνας δεν αλλάζει, καθώς εκπέμπει φωτόνιο (ακτινοβολία γ) μεταβαίνοντας από μια διεγερμένη σε μια στάθμη χαμηλότερης ενέργειας.





ΡΥΘΜΟΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ


ΝΟΜΟΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΔΙΑΣΠΑΣΕΩΝ

- Αν έχουμε ένα δείγμα N ραδιενεργών πυρήνων κάποιου είδους, τότε οι πυρήνες dN που θα διασπαστούν στο απειροστό χρονικό διάστημα dt είναι:

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$$



ΣΤΑΘΕΡΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ

- Το λ είναι η ονομαζόμενη σταθερά διάσπασης και εκφράζει την πιθανότητα να διασπαστεί ένας πυρήνας.
 - Έχει μονάδες second^{-1} .
 - Κάθε νουκλίδιο έχει τη δική του σταθερά διάσπασης.
 - Η ποσότητα $\tau = 1/\lambda$ ονομάζεται μέσος χρόνος ζωής.
- 

ΝΟΜΟΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΔΙΑΣΠΑΣΕΩΝ

- Πρόκειται για ένα στατιστικό νόμο, δεν υπάρχει κανένας τρόπος δηλαδή να προβλέψουμε ποιος(-οι) πυρήνας(-ες) από τους αρχικούς N θα διασπασθούν το επόμενο στοιχειώδες χρονικό διάστημα dt .



ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ

- Η απόλυτη τιμή του ρυθμού με τον οποίο γίνονται οι διασπάσεις ενός πυρήνα ονομάζονται ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ (C)

$$C = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N$$



ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΠΗΓΗΣ

- 1 Becquerel (Bq) S.I.=1 διάσπαση/ s.
- 1 Curie (Ci) = $3,7 \times 10^{10}$ διασπάσεις/s
= $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.
- 1 Curie = διασπάσεις που παρατηρούνται σε 1gr Ra μέσα σε χρονικό διάστημα 1s.



ΝΟΜΟΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΔΙΑΣΠΑΣΕΩΝ

- Μπορούμε με βάση τον απειροστό νόμο για τις ραδιενεργές διασπάσεις να καταλήξουμε με ολοκλήρωση στον εκθετικό νόμο από τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε πόσοι πυρήνες N θα μείνουν αδιάσπαστοι μετά από χρόνο t από ένα αρχικό δείγμα N_0 πυρήνων:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$



ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

- Είναι ο χρόνος ($t_{1/2}$) στον οποίο έχουν μείνει αδιάσπαστοι οι μισοί από τους αρχικούς πυρήνες.

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \xrightarrow{N=N_0/2}$$

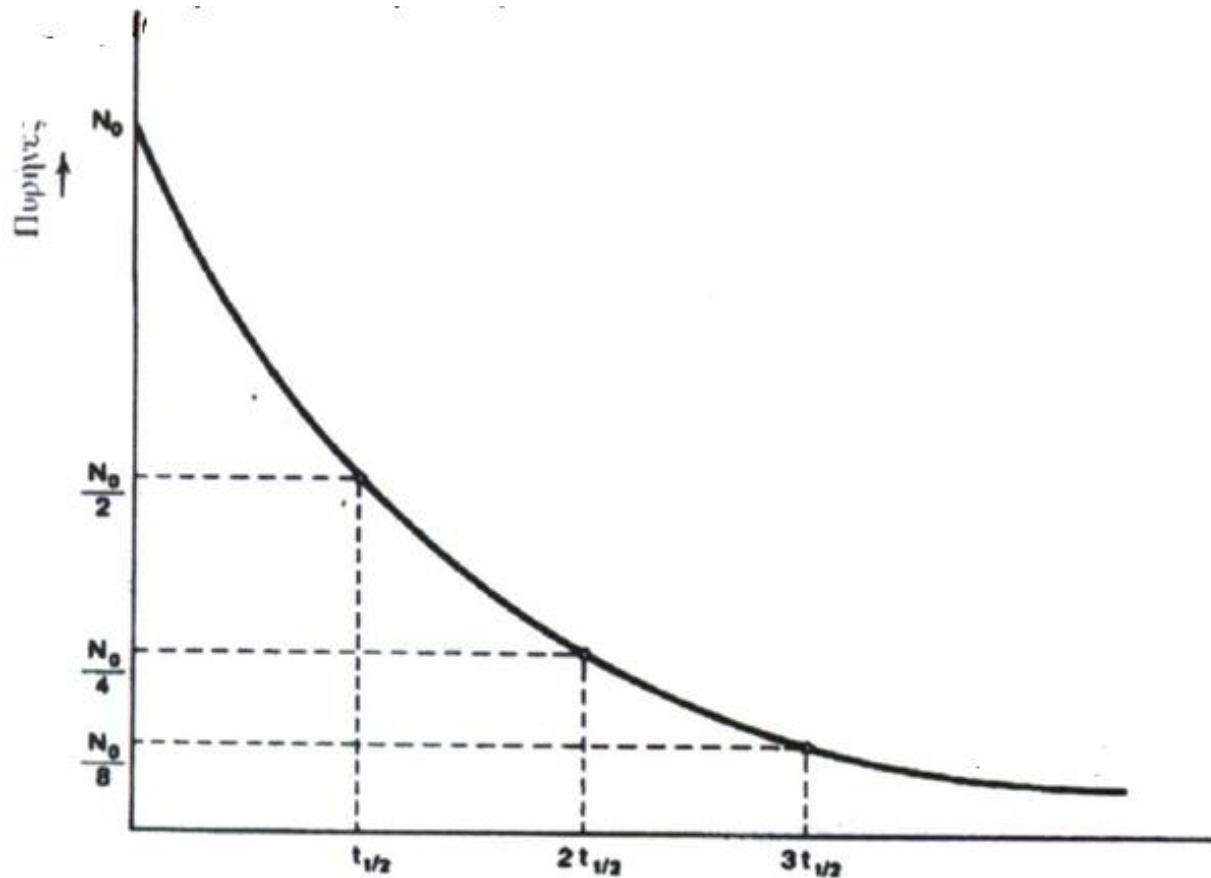
$$\Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$



ΝΟΜΟΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΔΙΑΣΠΑΣΕΩΝ

○ Σχηματικά



ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

- Χαρακτηριστικοί χρόνοι υποδιπλασιασμού

Πυρήνας	$t_{1/2}$	
^{238}U	$4,51 \times 10^9$ χρόνια	Έκλυση μικρής ποσότητας ραδιενέργειας σε δεδομένο χρόνο
^{226}Ra	1620 χρόνια	Εκλύει σημαντικά ποσά ραδιενέργειας και για μεγάλο χρονικό διάστημα
^{131}Th	8,0 ημέρες	Ισχυρά ραδιενεργός αλλά η ραδιενέργεια σύντομα φτάνει να γίνεται αμελητέα

ΕΝΕΡΓΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

- Όταν ένα φάρμακο δίνεται σε κάποιον ασθενή, ή γενικότερα όταν κάποιο ραδιενεργό στοιχείο περάσει σε ένα βιολογικό σύστημα, τότε τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα.
- Πέρα από τη ραδιενεργό διάσπαση, ο ραδιενεργός πυρήνας μπορεί ταυτόχρονα να αποβάλλεται από τον οργανισμό.



ΕΝΕΡΓΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

- Η διαδικασία της αποβολής από τον οργανισμό είναι πολύ πιο περίπλοκη από την μείωση λόγω της ραδιενεργού διάσπασης.
- Θα μελετήσουμε εδώ την απλή περίπτωση κατά την οποία η αποβολή ακολουθεί επίσης έναν εκθετικό νόμο μείωσης της μορφής:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda_\beta \cdot t}$$

όπου λ_β η βιολογική σταθερά αποβολής.

ΕΝΕΡΓΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

- Αυτό σημαίνει ότι τώρα ο ρυθμός μείωσης των πυρήνων θα δίνεται από τη σχέση

$$dN = -(\lambda + \lambda_\beta)N \Rightarrow N = N_0 e^{-(\lambda + \lambda_\beta) \cdot t}$$

αφού τώρα έχουμε δύο διεργασίες μείωσης των πυρήνων.



ΕΝΕΡΓΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

- Ονομάζουμε το άθροισμα των δύο σταθερών διάσπασης $\lambda_{εν.} = \lambda + \lambda_{\beta}$ ως ενεργό σταθερά διάσπασης.
- Προφανώς, ο ενεργός χρόνος υποδιπλασιασμού θα είναι:

$$t_{1/2,εν.} = \frac{\ln 2}{\lambda + \lambda_{\beta}} \Rightarrow \frac{1}{t_{1/2,εν.}} = \frac{\lambda + \lambda_{\beta}}{\ln 2} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \frac{1}{t_{1/2,εν.}} = \frac{\lambda}{\ln 2} + \frac{\lambda_{\beta}}{\ln 2} \Rightarrow \frac{1}{t_{1/2,εν.}} = \frac{1}{t_{1/2}} + \frac{1}{t_{\beta}}$$

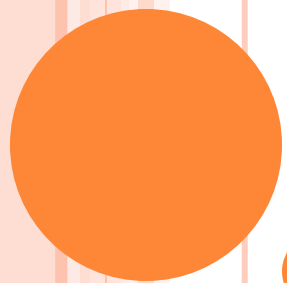
ΕΝΕΡΓΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

- Μπορούμε μάλιστα να ορίσουμε δύο ενεργότητες, την πρώτη λόγω της ραδιενεργού διάσπασης και τη δεύτερη λόγω της απομάκρυνσης μέσω των βιολογικών διαδικασιών.
- Έτσι έχω:

$$C = \lambda N$$

$$C_{\beta} = \lambda_{\beta} N$$





ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

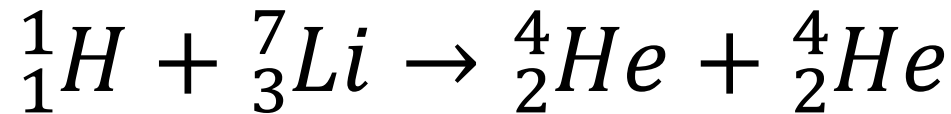
ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

- Πρόκειται για αντιδράσεις που γίνονται μεταξύ πυρήνων.
- Σε αυτές συγκρούονται πυρήνες ή εκτοξεύουμε εναντίον πυρήνων σωματίδια μεγάλης ενέργειας.

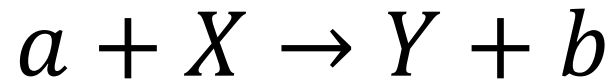


ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

- Για παράδειγμα:



- Γενικά, μια πυρηνική αντίδραση παριστάνεται ως:



όπου τα a και b είναι συνήθως σωματίδια (σπανιότερα πυρήνες) και τα X , Y πυρήνες.



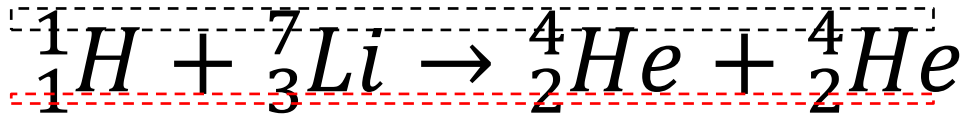
ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

- Σε κάθε πυρηνική αντίδραση :
 - Διατηρείται το φορτίο.
 - Διατηρείται ο συνολικός αριθμός νουκλεονίων.
 - Διατηρείται η ορμή.
 - Διατηρείται η ενέργεια και η μάζα.



ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

- Για παράδειγμα:



1+7 = 4+4
Διατήρηση
νουκλεονίων

1+3 = 2+2
Διατήρηση
φορτίου



ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

- Κάθε πυρηνική αντίδραση χαρακτηρίζεται από την ονομαζόμενη Q τιμή.
- Για παράδειγμα:
$${}^1_1H + {}^7_3Li \rightarrow {}^4_2He + {}^4_2He + 17,3 \text{ MeV}$$
- Η τιμή των $Q = 17,3 \text{ MeV}$ δείχνει την ενέργεια που απελευθερώνεται
- Αντίθετα αν το Q ήταν αρνητικό, αυτό σημαίνει ότι απαιτείται ενέργεια.



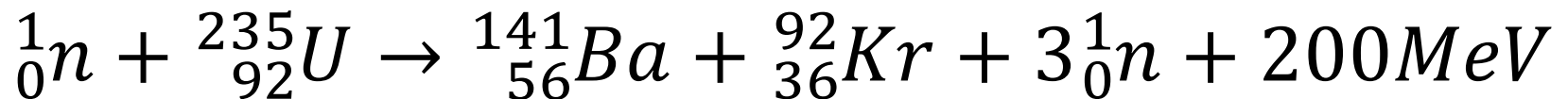
ΣΧΑΣΗ & ΣΥΝΤΗΞΗ

- Δύο πολύ σημαντικές πυρηνικές αντιδράσεις είναι η σχάση και η σύντηξη.
- Η σχάση συμβαίνει σε πυρήνες με μεγάλο μαζικό αριθμό που διασπώνται.
- Η σύντηξη συμβαίνει σε πυρήνες με μικρό μαζικό αριθμό που ενώνονται.



ΣΧΑΣΗ

- Η σχάση ανακαλύφθηκε το 1939 από τους Hahn και Strassman στην Γερμανία.
- Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η σχάση του ουρανίου:

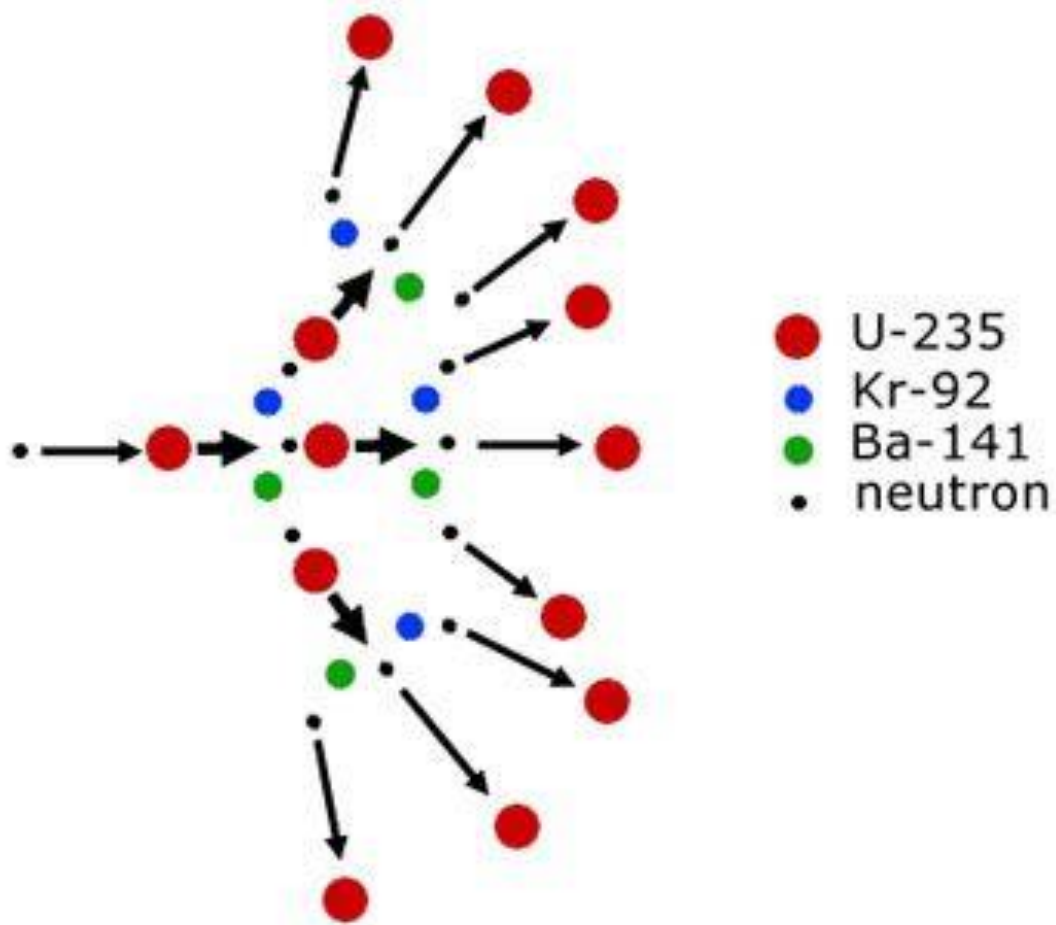


ΑΛΥΣΙΔΩΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

- Βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε σχέση ουρανίου παράγει τρία νετρόνια που με τη σειρά τους μπορούν και αυτά να προκαλέσουν σχέση.

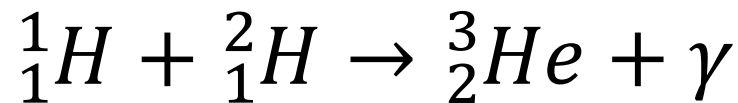


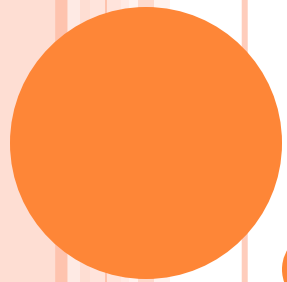
ΑΛΥΣΙΑΩΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ



ΣΥΝΤΗΞΗ

- Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η σύντηξη υδρογόνου με ισότοπου του ηλίου:





ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ

ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ

- Στη μέθοδο της ραδιοχρονολόγησης, χρησιμοποιούμε τον εκθετικό νόμο που μάθαμε ότι ισχύει στις ραδιενεργές διασπάσεις προκειμένου να υπολογίσουμε το χρόνο που έχει περάσει.



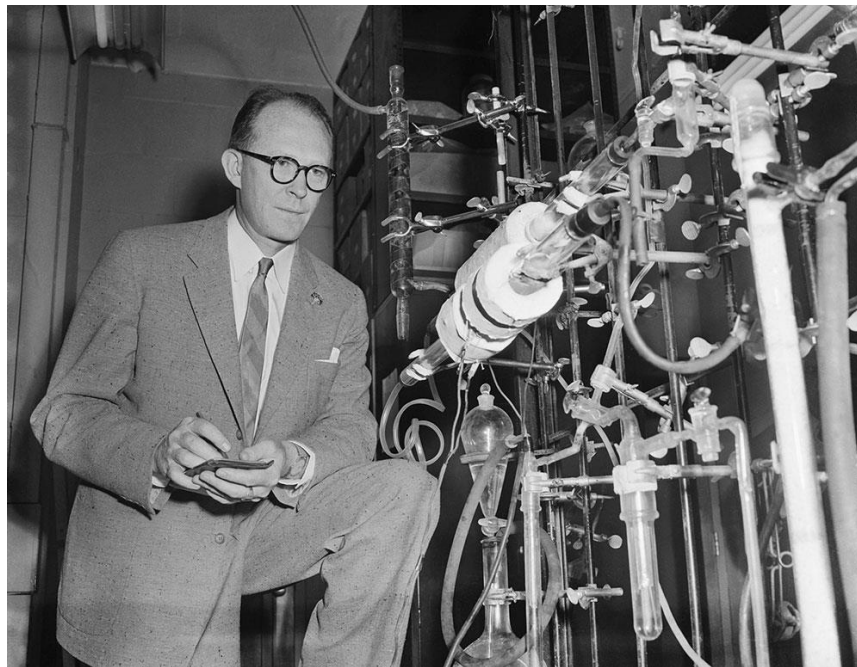
ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

- Στη γεωλογία μπορούμε να μετρήσουμε την ηλικία των πετρωμάτων μετρώντας το λόγο ^{40}K προς ^{40}Ar ($t_{1/2} = 1,25 \times 10^9$ έτη) ή ^{235}U προς ^{207}Pb .
- Με τον τρόπο αυτό έχουμε διαπιστώσει ότι τα παλαιότερα πετρώματα στη Γη έχουν ηλικία που είναι συμβατή με την ηλικία της Γης που εκτιμάται στα 4 δισεκατομμύρια χρόνια.




ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΑ 14

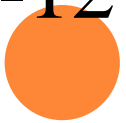
- Η συγκεκριμένη τεχνική αναπτύχθηκε από τον W. Libby που βραβεύθηκε με το βραβείο Nobel στη Χημεία το 1960.



ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ 14 ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

- Η Γη βομβαρδίζεται συνεχώς με κοσμική ακτινοβολία.
 - Πρόκειται για σωματίδια (πρωτόνια και πυρήνες) μεγάλης ενέργειας προερχόμενα από τον Ήλιο ή τον Γαλαξία μας.
 - Τα σωματίδια αυτά συγκρούονται με σωματίδια στην ατμόσφαιρα και παράγουν μεταξύ των άλλων το ισότοπο ^{14}C .
- 

ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΑ 14


- Ο C-14 είναι ραδιενεργός και αυθόρμητα διασπάται, αλλά αναδημιουργείται από τις κοσμικές ακτίνες.
 - Θεωρούμε ότι η όλη διαδικασία έχει φθάσει σε ισορροπία, δηλαδή όση ποσότητα C-14 διασπάται σε ένα χρονικό διάστημα τόση επανεμφανίζεται.
 - Διαχρονικά λοιπόν, στην ατμόσφαιρα ο λόγος των δύο ισοτόπων C-14 (ραδιενεργό) και C-12 (μη ραδιενεργό) είναι σταθερός.
- 

ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΑ 14

- Τα φυτά προσλαμβάνουν άνθρακα από την ατμόσφαιρα, με τη μορφή CO_2 .
- Ο C που υπάρχει όμως στο CO_2 μπορεί να είναι είτε C-12 είτε C-14.
- Ο άνθρακας αυτός, μέσω της τροφικής αλυσίδας περνά και στους υπόλοιπους οργανισμούς.



ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΑ 14


- Άρα σε κάθε οργανισμό θα υπάρχουν και τα δύο αυτά ισότοπα του άνθρακα.
 - Όσο ένας οργανισμός είναι ζωντανός, αναπληρώνει το ισότοπο C-14 που χάνει εξαιτίας της διάσπασής του και ο λόγος των ισοτόπων είναι ίδιος με αυτόν της ατμόσφαιρας.
 - Όταν όμως ο οργανισμός πεθάνει, αρχίζει η ποσότητα του C-14 να μειώνεται και έτσι ο λόγος των δύο ισοτόπων αλλάζει.
- 

ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΑ 14

- Στην αρχαιολογία χρησιμοποιούμε τη μέτρηση του επιπέδου ^{14}C ($t_{1/2} = 5730$ έτη) σε σύγκριση του με εκείνο που θα έπρεπε να υπάρχει αν δεν είχαν σταματήσει οι φυσιολογικές λειτουργίες του φυτικού ή ζωικού οργανισμού για τον υπολογισμό της ηλικίας του ευρήματος.

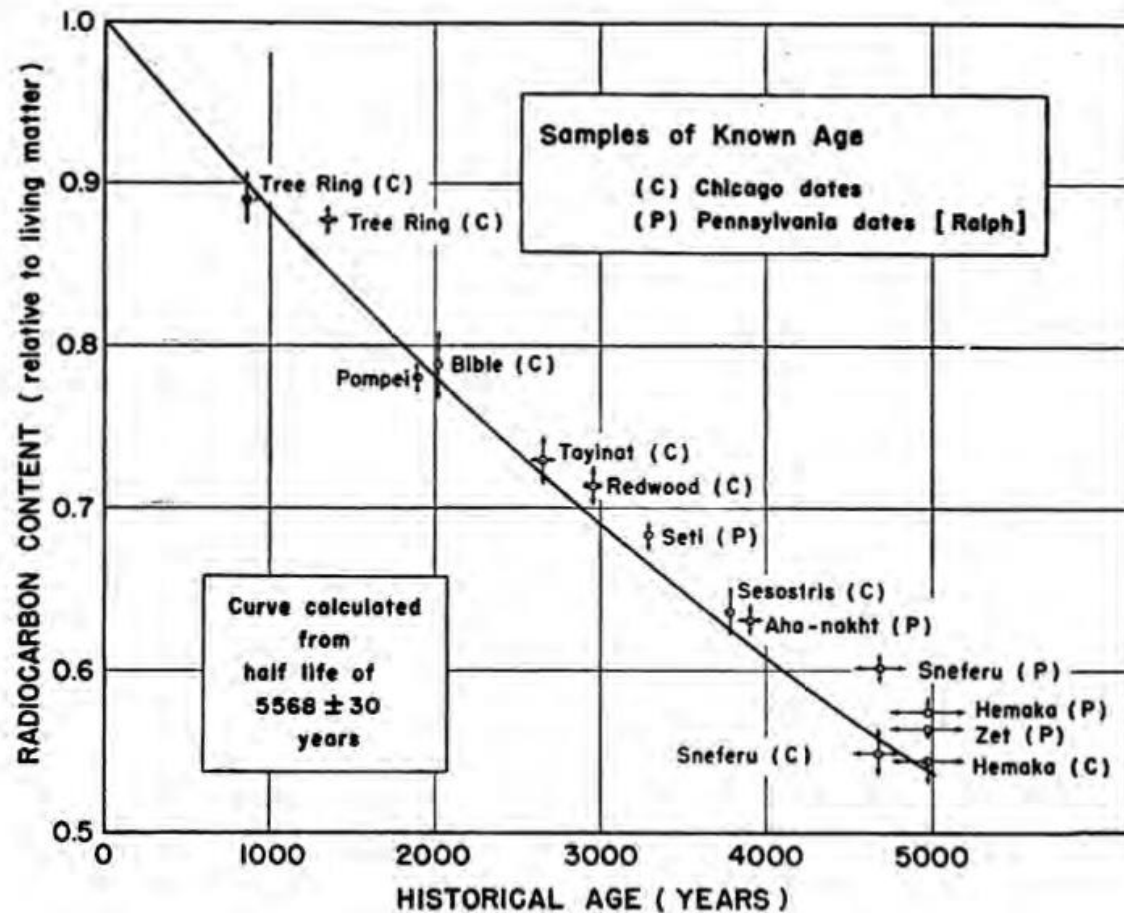


ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΑ 14

- Ο Libby επιβεβαίωσε τη λειτουργία του «ρολογιού» του χρησιμοποιώντας κάποια αντικείμενα που η ηλικία τους ήταν γνωστή από άλλες πηγές φτιάχνοντας την «καμπύλη των γνωστών ηλικιών».
 - Σε αυτή, τοποθέτησε στον κατακόρυφο άξονα το λόγο των δύο ισοτόπων σε σχέση με τη γνωστή του λόγου που ισχύει για την ατμόσφαιρα.
- 

ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΝΘΡΑΚΑ 14

- Σχηματικά



ΜΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ

- Χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη τεχνική (χρονολόγηση των σπόρων) έγινε ο επόμενος χάρτης ο οποίος δείχνει την εξάπλωση των εξημερωμένων φυτών από μια από τις πηγές της, την περιοχή της Γόνιμης Ημισελήνου.



ΜΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ

The spread of Fertile Crescent crops across western Eurasia

