



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Τμήμα Μηχανικών
Περιβάλλοντος,
Πολυτεχνική Σχολή

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ

Αγγελική Απ. Γαλάνη

Χημικός PhD

Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (ΕΔΙΠ)

Τα άτομα αποτελούνται από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια

Σωματίδιο	Μάζα(Kg)	Φορτίο (C)	Μάζα (amu)	Φορτίο (e)
Ηλεκτρόνιο	$9,10938 \times 10^{-31}$	$-1,60218 \times 10^{-19}$	0,00055	-1
Πρωτόνιο	$1,67262 \times 10^{-27}$	$+1,60218 \times 10^{-19}$	1,00728	+1
Νετρόνιο	$1,67493 \times 10^{-27}$	0	1,00866	0



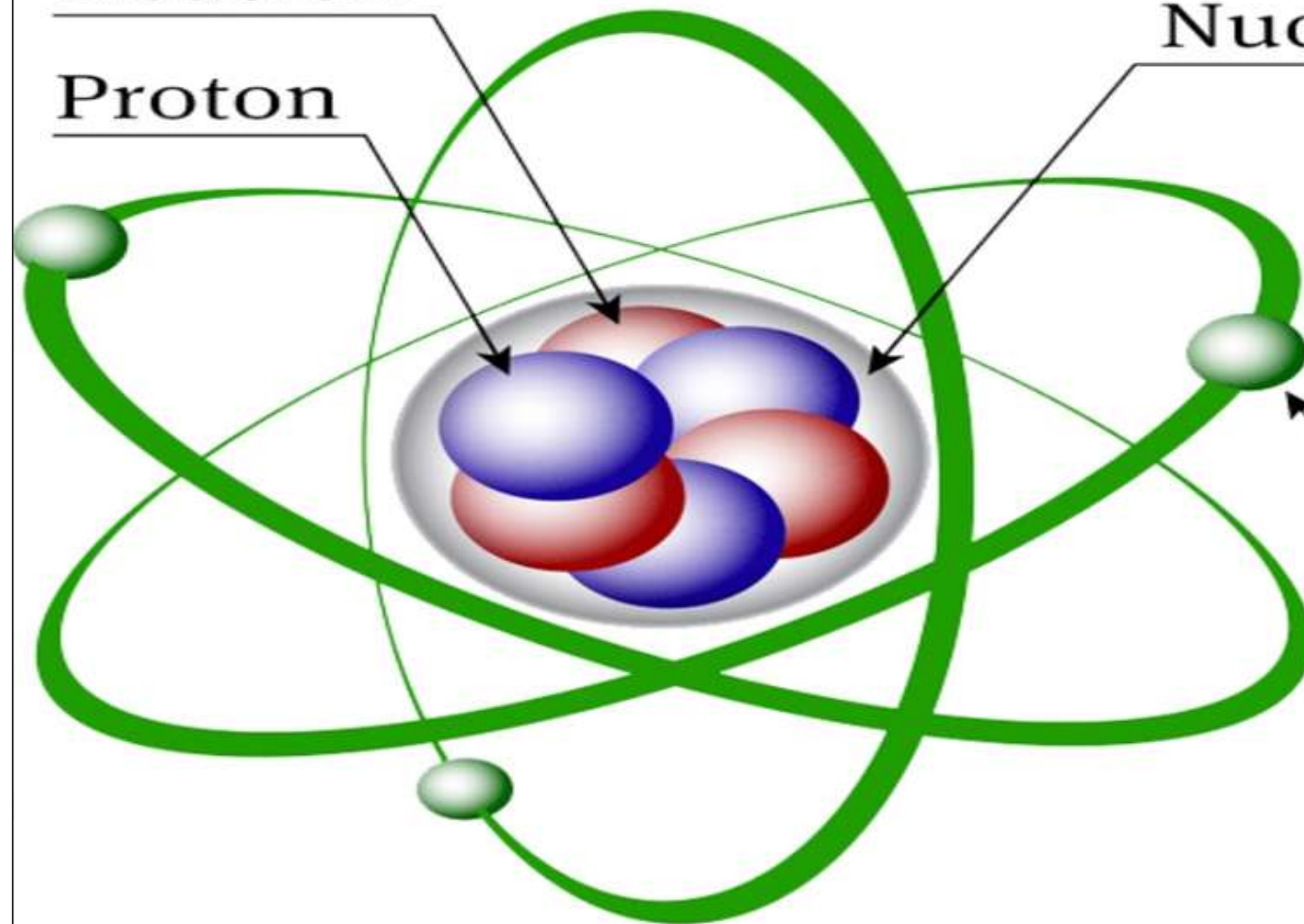
Salman Academy
Learning with Salman

Neutron

Proton

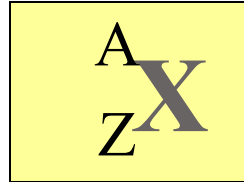
Nucleus

Electron



ATOMO

- **Νουκλίδιο**, ονομάζεται κάθε ατομικό είδος που χαρακτηρίζεται από δύο αριθμούς **τον ατομικό Z** και **τον μαζικό A**.



- **Ατομικός αριθμός Z**, είναι ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα.

Αφού σε ένα ουδέτερο άτομο ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων ο ατομικός αριθμός δίνει και τον αριθμό των ηλεκτρονίων.

- **Μαζικός αριθμός A** είναι ο συνολικός αριθμός πρωτονίων και νετρονίων, (νουκλεονίων) του πυρήνα.
- Αν **N** ο αριθμός των νετρονίων του πυρήνα, τότε ισχύει:

$$N = A - Z$$

Ισότοπα στοιχεία

Νουκλίδια με τον ίδιο ατομικό αριθμό Z και διαφορετικό μαζικό A , ονομάζονται **ισότοπα**.

Π.χ. ${}_{17}^{35}\text{Cl}$: 17p, 18N, 17e

${}_{17}^{37}\text{Cl}$: 17p, 20N, 17e

Τα ισότοπα διαφέρουν στον αριθμό νετρονίων του πυρήνα και άρα στην ατομική μάζα. Έχουν ίδιες χημικές ιδιότητες αφού έχουν ίδιο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων.

Ισοβαρή στοιχεία

Είναι άτομα διαφορετικών στοιχείων με ίδιο μαζικό αριθμό αλλά διαφορετικό ατομικό αριθμό.

Διαφέρουν τόσο στις φυσικές όσο και στις χημικές ιδιότητες.

Το ποσοστό ατόμων ισοτόπου στοιχείου, καλείται κλασματική αφθονία του συγκεκριμένου ισοτόπου, στο στοιχείο.

Η ατομική μάζα ενός στοιχείου, υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη μάζα του κάθε ισοτόπου του, επί την αντίστοιχη κλασματική αφθονία και προσθέτοντας όλες τις τιμές.

ΠΡΟΣΟΧΗ

**Η σχετική ατομική μάζα ή ατομικό βάρος, (A_r), είναι καθαρός αριθμός.
Η ατομική μονάδα εκφράζεται σε amu.
Η μάζα mol σε g/mol.**

Παράδειγμα: Υπάρχουν τρία σταθερά ισότοπα νέον. Χρησιμοποιώντας τα πιο κάτω δεδομένα να υπολογίσετε την ατομική μάζα του νέον. Να αποδώσετε με τέσσερα σημαντικά ψηφία το αποτέλεσμα.

Ισότοπο	Κλασματική ή αφθονία	Ισοτοπική Μάζα (amu)
Νέο-20	0,9048	19,99244
Νέο-21	0,0027	20,99385
Νέο-22	0,0925	21,99139

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ισότοπο	Κλασματική αφθονία		Ισοτοπική Μάζα (amu)	Μάζα (amu)
Νέο-20	0,9048	x	19,99244	18,09
Νέο-21	0,0027	x	20,99385	0,05668
Νέο-22	0,0925	x	21,99139	2,034
A.B. Ne =				20,18

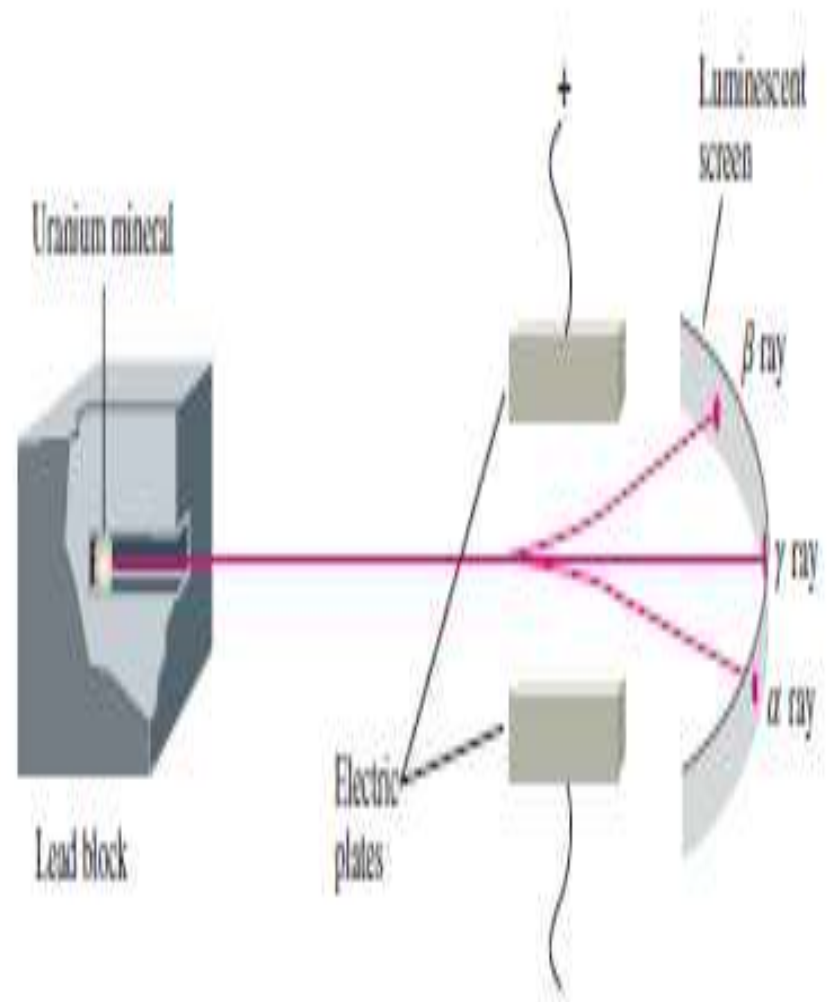
Ραδιενέργεια – Αντιδράσεις με βομβαρδισμό Πυρήνων

- **Στις χημικές αντιδράσεις**, παίρνουν μέρος τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων και οι πυρήνες δεν επηρεάζονται.
- **Στις πυρηνικές αντιδράσεις**, λαμβάνουν χώρα μεταβολές του πυρήνα ανεξάρτητα με το χημικό περιβάλλον του ατόμου. Π.χ. οι πυρηνικές μεταβολές στο ραδιενεργό άτομο ${}^3_1\text{H}$ είναι οι ίδιες είτε αυτό είναι τμήμα του H_2 είτε είναι συστατικό του H_2O .
- **Ραδιενεργός διάσπαση: Διεργασία κατά την οποία ένας πυρήνας διασπάται αυθόρμητα, εκπέμποντας ακτινοβολία.** Η ακτινοβολία μπορεί να είναι ηλεκτρόνια, πυρηνικά σωματίδια (όπως νετρόνια), μικρότεροι πυρήνες (ηλίου-4 συνήθως), ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- **Αντίδραση με βομβαρδισμό πυρήνων:** Ο πυρήνας βομβαρδίζεται από άλλο πυρήνα ή πυρηνικό σωματίδιο. Τα πυρηνικά σωματίδια αναδιατάσσονται και προκύπτει παράγωγος πυρήνας ή πυρήνες.

- **1896: Ο Becquerel ανακαλύπτει το φαινόμενο της ραδιενέργειας.**

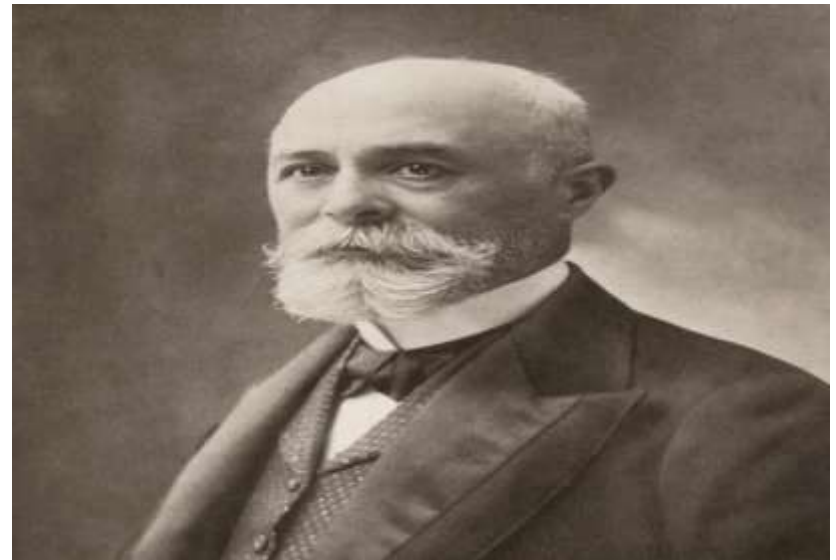
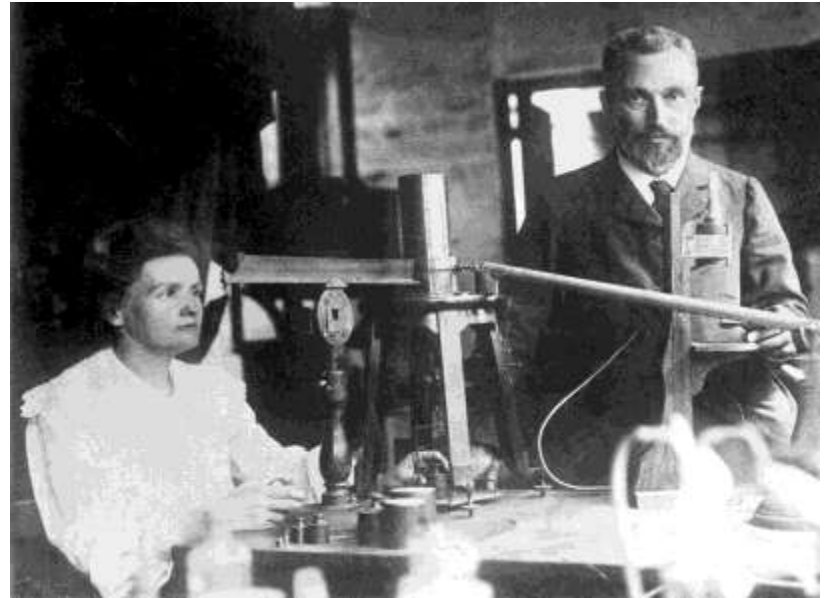
Παρατηρώντας πως όταν φωτογραφικές πλάκες εκτίθονταν σε ορυκτά του ουρανίου εμφάνιζαν φωτεινές κηλίδες, συμπέρανε πως τα ορυκτά εκπέμπουν είδος ακτινοβολίας.

- **Η ακτινοβολία των ορυκτών του ουρανίου, διαχωρίστηκε αργότερα σε ακτίνες άλφα, βήτα και γάμμα.**



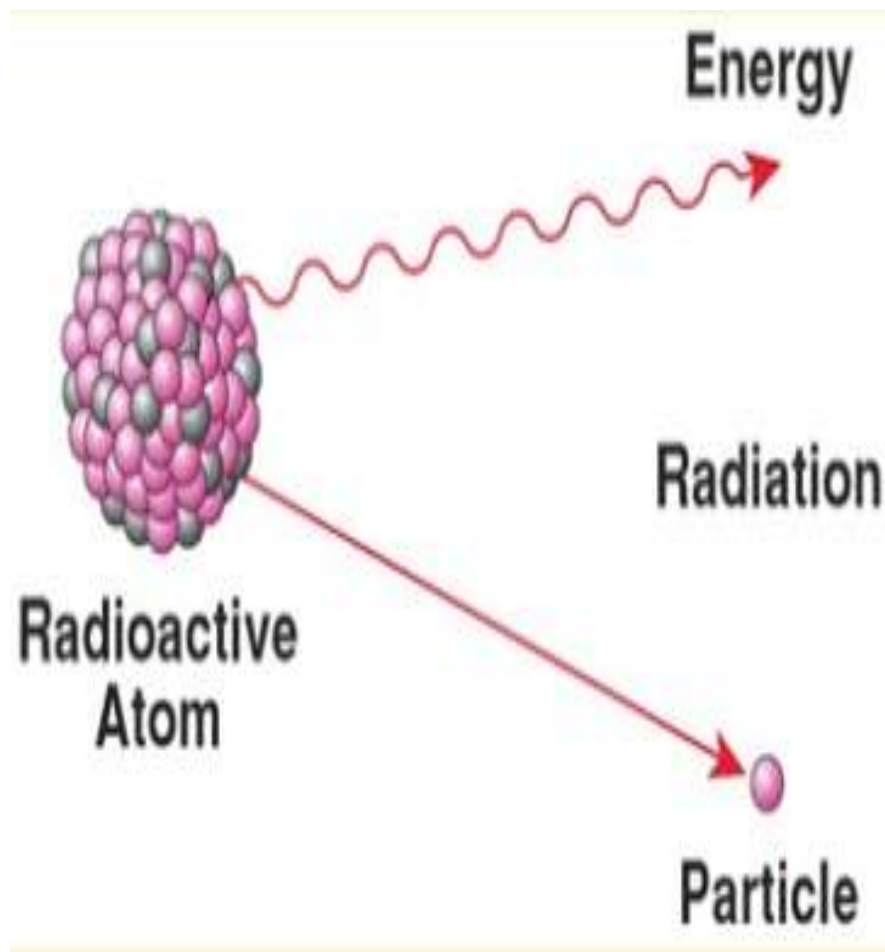
Εικόνα από: General Chemistry
Ebbing Gammon, 9th Edition

- Marie Curie και Pierre Curie, ανακάλυψη ραδίου και πολώνιου.
- **1903:** Απονομή βραβείου Νόμπελ Φυσικής στους Becquerel και Marie και Pierre Curie για την ανακάλυψη της ραδιενέργειας.



Ραδιενέργεια

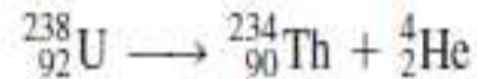
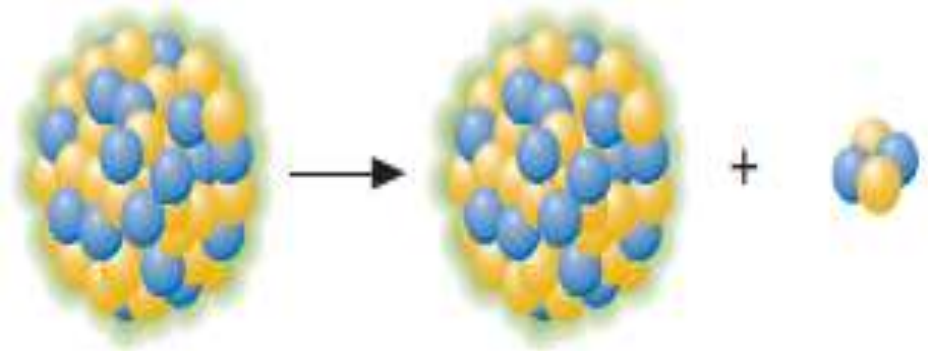
- Πολλά στοιχεία διαθέτουν ισότοπα τα οποία είναι ασταθή και οι πυρήνες τους διασπώνται σε άλλους με απελευθέρωση ενέργειας.
- Ως ραδιενέργεια, αναφέρεται η αυτόματη διάσπαση των πυρήνων κάποιων στοιχείων, με ταυτόχρονη έκλυση ηλεκτρομαγνητικής ή σωματιδιακής ακτινοβολίας (ακτίνες α , β , γ).



Πυρηνικές εξισώσεις

Οι πυρηνικές εξισώσεις είναι οι συμβολικές παραστάσεις των πυρηνικών αντιδράσεων.

Οι πυρηνικές εξισώσεις παριστάνονται με τα νουκλιδικά τους σύμβολα. Στα υπόλοιπα σωματίδια δίνονται τα σύμβολα που φαίνονται δίπλα και στα οποία ο δείκτης ισούται με το φορτίο και ο εκθέτης με το μαζικό αριθμό.



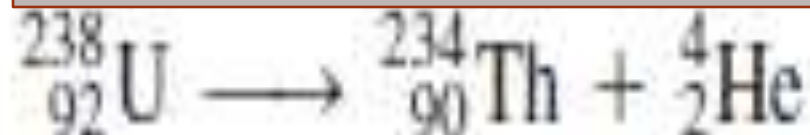
Proton	${}_1^1\text{H}$	or	${}_1^1\text{p}$
Neutron	${}_0^1\text{n}$		
Electron	${}_{-1}^0\text{e}$	or	${}_{-1}^0\beta$
Positron	${}_1^0\text{e}$	or	${}_1^0\beta$
Gamma photon	${}_0^0\gamma$		

Εικόνα από: General Chemistry
Ebbing Gammon, 9th Edition

- **Εκπομπή βήτα** → Διάσπαση πυρήνα με εκπομπή ηλεκτρονίου ${}_{-1}^0e$. Το ηλεκτρόνιο που εκπέμπεται συμβολίζεται και ${}_{-1}^0\beta$
- **Ποζιτρόνιο** → Είναι σωματίδιο παρόμοιο του ηλεκτρονίου, ίδιας μάζας, όμως θετικού φορτίου.
- **Φωτόνιο γάμμα** → Σωματίδιο ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μικρού μήκους ($\approx 10^{-12}$ m) και υψηλής ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια πυρηνικής αντίδρασης το φορτίο καθώς και ο αριθμός νουκλεονίων μένουν σταθερά.

$$238 = 234 + 4$$



$$92 = 90 + 2$$

Πυρηνική σταθερότητα

Η σταθερότητα όσων πυρήνων διαθέτουν περισσότερα του ενός πρωτόνια (ομοειδή φορτία που κανονικά θα έπρεπε να απωθούνται), οφείλεται στην πυρηνική δύναμη. Η πυρηνική δύναμη είναι μια ισχυρή ελκτική δύναμη μεταξύ νουκλεονίων που δρα σε πολύ μικρές αποστάσεις $\approx 10^{-15}$ m.

Για μεγαλύτερες αποστάσεις οι πυρηνικές δυνάμεις γίνονται αμελητέες. Δηλαδή πρωτόνια που απέχουν μεγαλύτερη απόσταση, απωθούνται λόγω των ομοειδών τους φορτίων, ενώ μέσα στον πυρήνα η πυρηνική δύναμη έχει τη δυνατότητα να αντισταθμίσει την άπωση των πρωτονίων και να δώσει σταθερό πυρήνα.

- **Πρωτόνια και νετρόνια σε ένα πυρήνα εμφανίζονται σε ενεργειακά επίπεδα ή φλοιούς, όπως και τα ηλεκτρόνια στα άτομα.**
- **Πυρήνες οι οποίοι έχουν ορισμένους αριθμούς πρωτονίων και νετρονίων, αριθμοί οι οποίοι ονομάζονται μαγικοί αριθμοί, εμφανίζονται να έχουν αυξημένη σταθερότητα.**
- **Μαγικός αριθμός είναι ο αριθμός πυρηνικών σωματιδίων σε συμπληρωμένο φλοιό πρωτονίων ή νετρονίων.**
- **Για πρωτόνια μαγικοί αριθμοί: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 114.**
- **Για νετρόνια μαγικοί αριθμοί: 2, 8, 20, 28, 50, 82 και 126.**



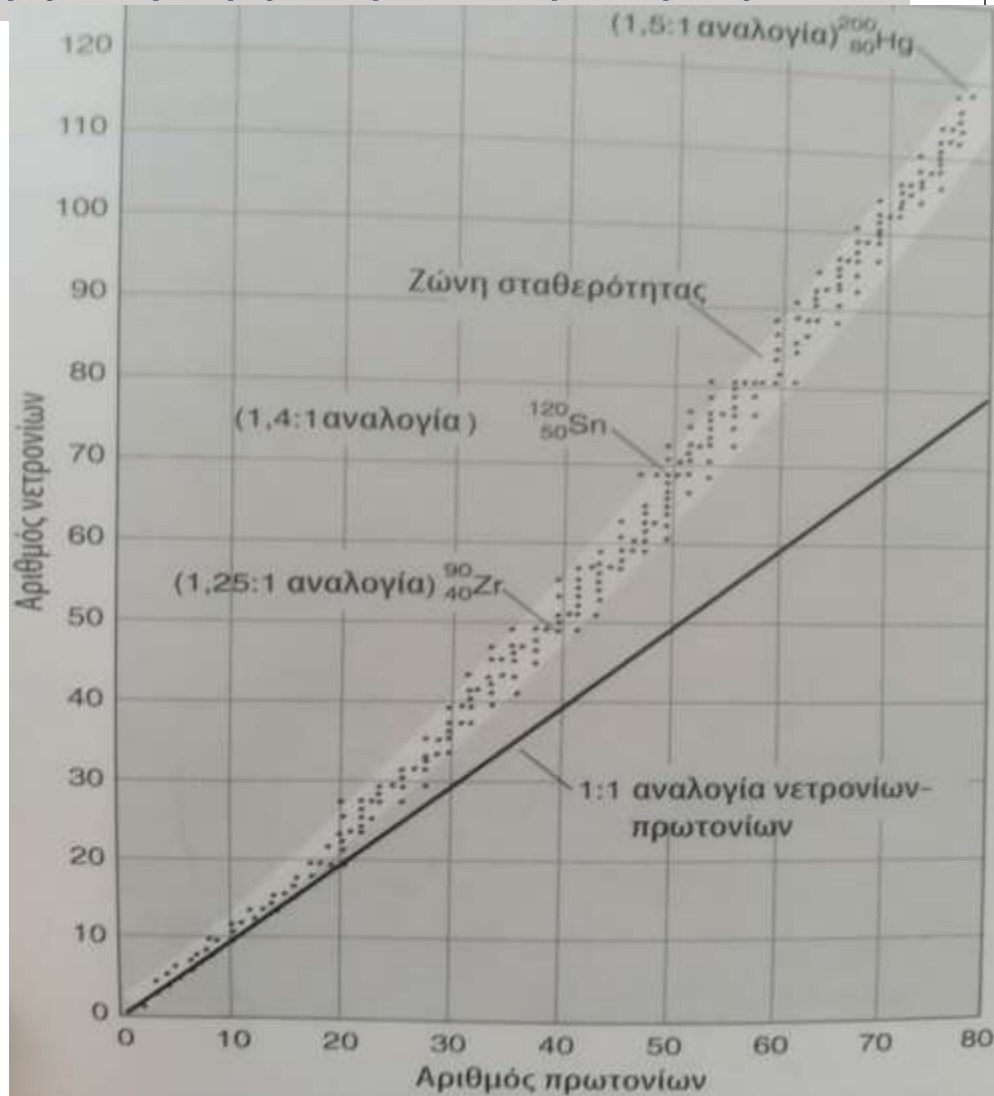
1963 η Maria Mayer τιμάται με το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την ανακάλυψη του πυρηνικού προτύπου των φλοιών.

Αν κατασκευαστεί διάγραμμα αριθμού νετρονίων ισοτόπου προς αριθμό πρωτονίων για όλους τους σταθερούς πυρήνες, φαίνεται πως όλα συμπίπτουν σε μια στενή ζώνη τη ζώνη σταθερότητας.

Οι πυρήνες των ατόμων των πιο πολλών φυσικών στοιχείων είναι σταθεροί, λόγω μιας ισχυρής, εντοπισμένης δύναμης μεταξύ κάθε πυρήνα που υπερνικά τις απώσεις.

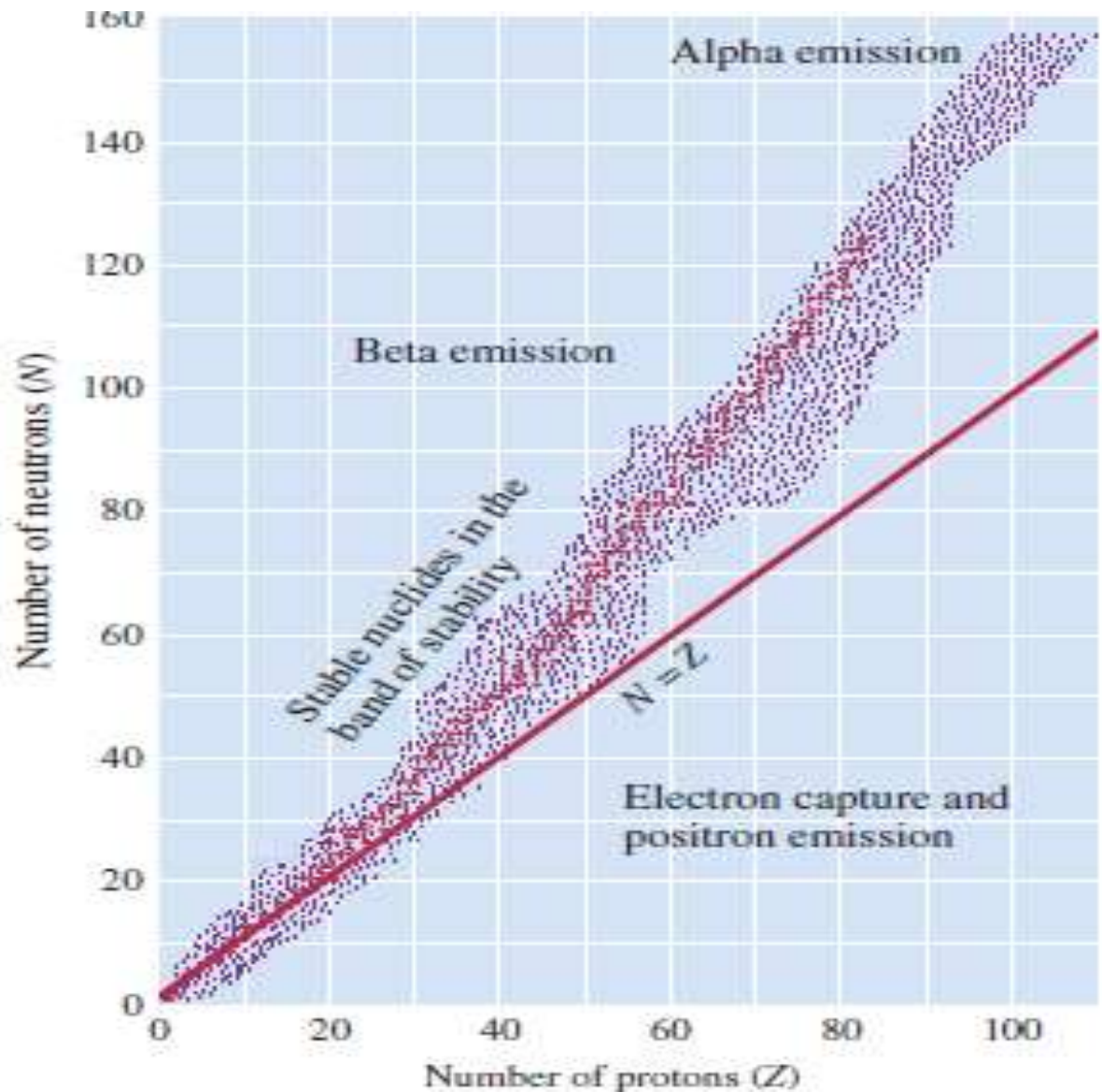
Για μικρούς ατομικούς αριθμούς, (Α.Α.) οι σταθεροί πυρήνες έχουν λόγο αριθμού N και $Z \approx 1,0$ έως $1,1$

Όσο ο Α.Α. αυξάνεται για σταθερούς πυρήνες ο N υπερβαίνει τον Z και η αναλογία γίνεται περίπου $1,5$ για τον πιο βαρύ σταθερό πυρήνα.



Εικόνα από: «Αρχές Περιβαλλοντικής Χημείας», James E. Girard, 3^η έκδοση

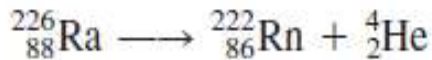
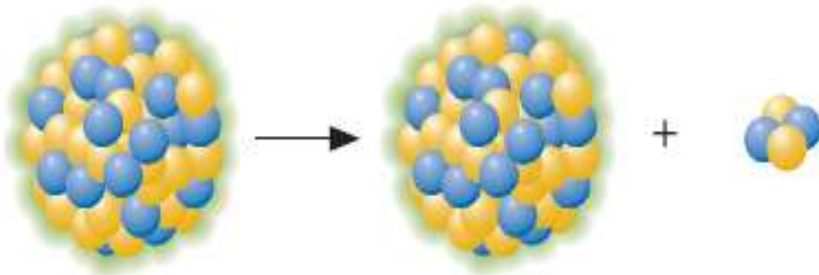
Η αύξηση του λόγου νετρόνια / πρωτόνια όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός πιθανά οφείλεται στις αυξανόμενες απώσεις πρωτονίων, λόγω των ηλεκτρικών τους απώσεων.



Εικόνα από: General Chemistry
Ebbing Gammon, 9th Edition

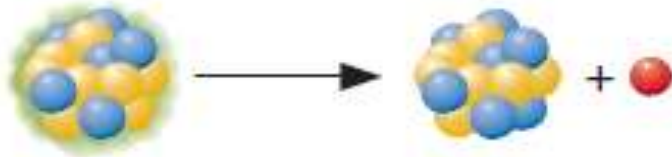
Τύποι ραδιενεργών διασπάσεων

1) Εκπομπή άλφα (α)



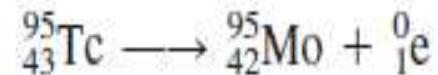
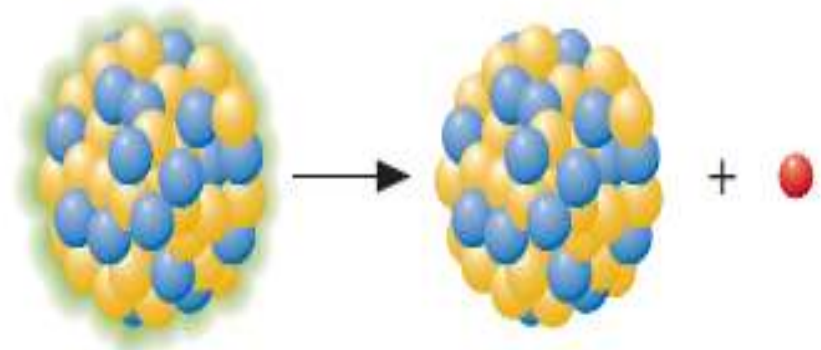
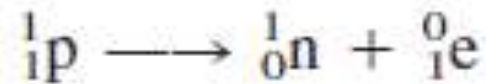
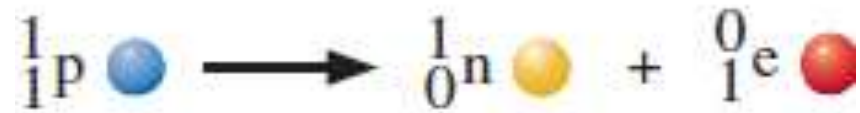
2) Εκπομπή βήτα (β ή β^-)

Νετρόνιο μετατρέπεται σε πρωτόνιο.



3) Εκπομπή ποζιτρονίου

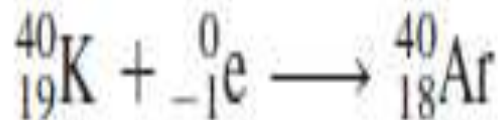
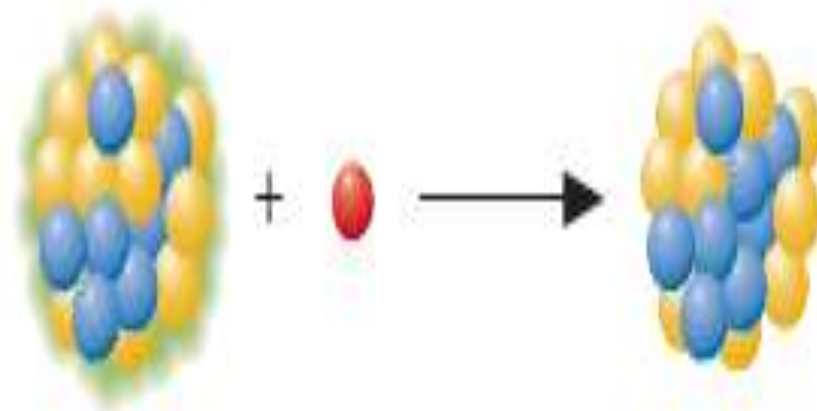
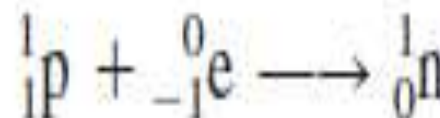
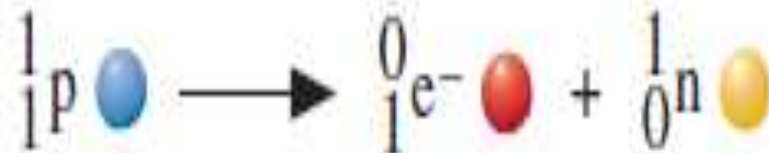
Πρωτόνιο μετατρέπεται σε νετρόνιο.



4) Σύλληψη ηλεκτρονίου (EC)

Η σύλληψη ηλεκτρονίου γίνεται από εσωτερικό τροχιακό του ατόμου, ενώ πρωτόνιο μετατρέπεται σε νετρόνιο.

Όταν ηλεκτρόνιο άλλου τροχιακού συμπληρώσει το κενό που δημιουργείται σε τροχιακό εσωτερικού φλοιού λόγω σύλληψης ηλεκτρονίου, εκπέμπεται φωτόνιο ακτίνων X.

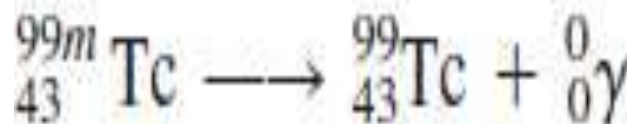
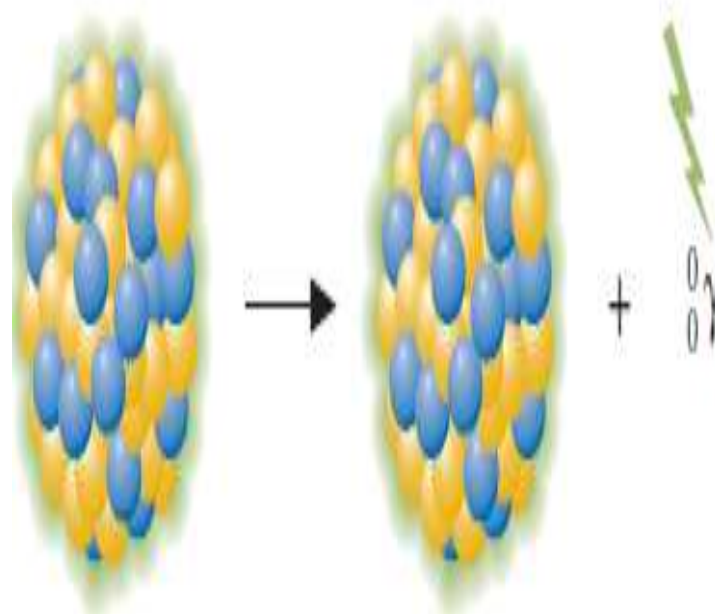


5) Εκπομπή γάμμα (γ)

Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή ακτίνων γάμμα του φάσματος.

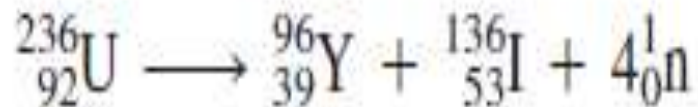
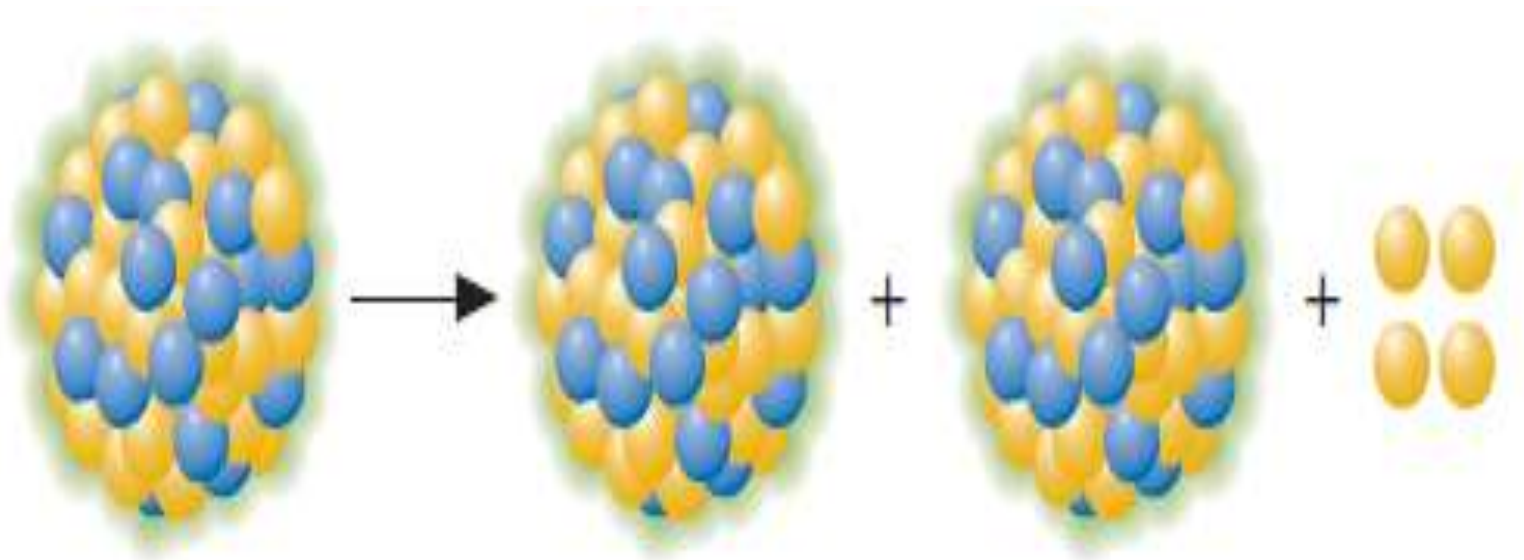
Σχηματισμός από ραδιενεργό διάσπαση, παράγωγου πυρήνα σε διηγερμένη κατάσταση η οποία είναι ασταθής και μεταπίπτει σε πιο χαμηλής ενέργειας με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Μετασταθής πυρήνας, είναι ο πυρήνας σε διηγερμένη κατάσταση με διάρκεια ζωής τουλάχιστον 10^{-9} s.



6) **Αυθόρμητη σχάση**

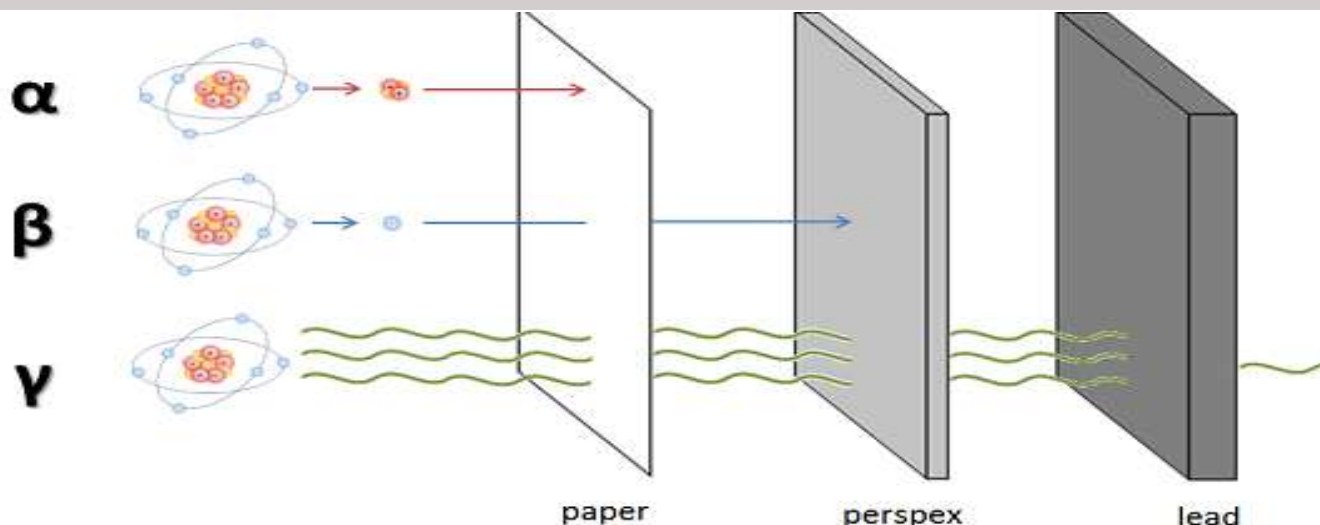
Ένας βαρύς πυρήνας μαζικού αριθμού μεγαλύτερου από 89 διαιρείται σε ελαφρύτερους και ελευθερώνεται ενέργεια.



Τύποι ραδιενεργών διασπάσεων

Type of Decay	Radiation	Equivalent Process	Resulting Nuclear Change		Usual Nuclear Condition
			Atomic Number	Mass Number	
Alpha emission (α)	${}^4_2\text{He}$	—	-2	-4	$Z > 83$
Beta emission (β)	${}^0_{-1}\text{e}$	${}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e}$	+1	0	N/Z too large
Positron emission (β^+)	${}^0_1\text{e}$	${}^1_1\text{p} \longrightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_1\text{e}$	-1	0	N/Z too small
Electron capture (EC)	x rays	${}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e} \longrightarrow {}^1_0\text{n}$	-1	0	N/Z too small
Gamma emission (γ)	${}^0_0\gamma$	—	0	0	Excited

Διεισδυτική ικανότητα διαφόρων ραδιενεργειών



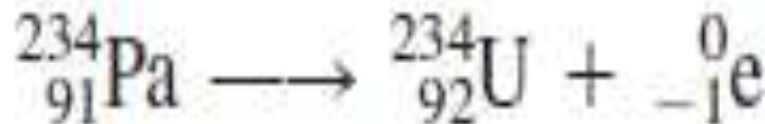
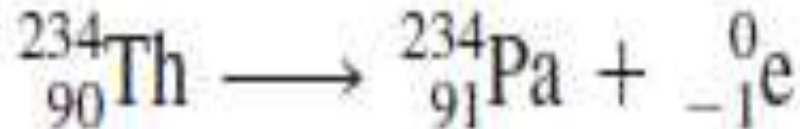
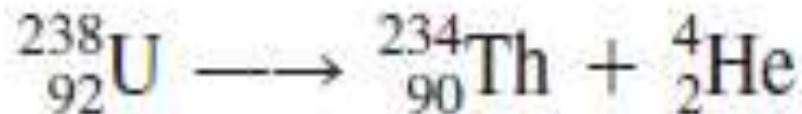
Εικόνα από:

<https://socratic.org/questions/why-is-gamma-decay-more-dangerous-than-alpha-decay-or-beta-decay>

- Σωματίδια α εκπέμπονται με ταχύτητες περίπου ίσες με 1/10 αυτής του φωτός και σταματούν σε φύλλο χαρτί.
- Σωματίδια β εκπέμπονται με ταχύτητες περίπου ίσες με του φωτός και περνούν ένα φύλλο χαρτί και αρκετά χιλιοστά του δέρματος όμως ανακόπτονται από φύλλο αλουμινίου.
- Οι ακτίνες γ έχουν την ταχύτητα του φωτός και είναι πιο διεισδυτικές των ακτίνων X. Περνούν εύκολα το ανθρώπινο σώμα.

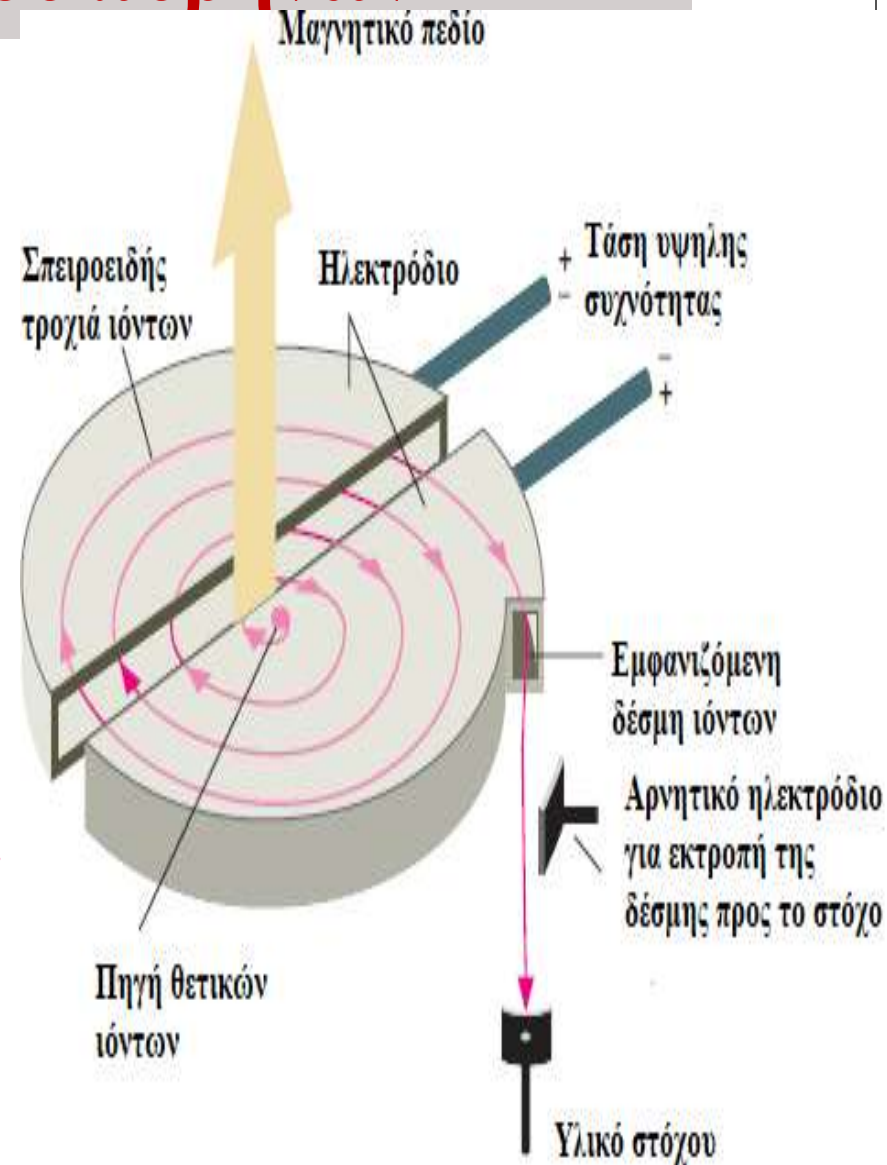
Σειρές ραδιενεργών διασπάσεων

- Τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία όπως το ουράνιο, δίνουν σειρά ραδιενεργών διασπάσεων, δηλαδή αλληλουχία όπου ένας ραδιενεργός πυρήνας διασπάται σε ένα δεύτερο, αυτός σε ένα τρίτο κ.λ.π. Η κατάληξη είναι κάποιος σταθερότερος πυρήνας που πάντα είναι ισότοπο του Pb.
- Υπάρχουν τρεις φυσικές σειρές ραδιενεργών διασπάσεων:



Αντιδράσεις βομβαρδισμού πυρήνων

- Μεταστοιχείωση, καλείται η μετατροπή κάποιου στοιχείου σε άλλο με βομβαρδισμό του πυρήνα του στοιχείου με πυρηνικά σωματίδια ή με πυρήνες.
- Για ελαφρούς πυρήνες, σωματίδια άλφα που προέρχονται από φυσικές τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βομβαρδισμό.
- Για βαρύτερους τα θετικά ιόντα σαν τα σωματίδια άλφα πρέπει πρώτα να επιταχυνθούν σε επιταχυντή σωματιδίων.
- Πολλά από τα υπερουράνια στοιχεία (με $Z > 92$), ελήφθησαν έτσι. Για παράδειγμα το πλουτόνιο.



Κύκλωτρο:
Είδος επιταχυντή σωματιδίων

- **1935** Νόμπελ χημείας
Ανακάλυψη τεχνητής
ραδιενέργειας από
Irène Joliot-Curie και
Frédéric Joliot.

Ανακάλυψαν ότι
αργίλιο που
βομβαρδίζεται με
σωματίδια άλφα,
παράγει φώσφορο-30
που διασπάται
εκπέμποντας
ποζιτρόνια.



Ακτινοβολίες και ύλη

- Σωματίδια άλφα, βήτα ή γάμμα κινούμενα μέσω της ύλης διασκορπίζουν ενέργεια ιοντίζοντας είτε άτομα είτε μόρια και παράγοντας θετικά ιόντα και ηλεκτρόνια.
- Σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν να διεγείρουν ηλεκτρόνια και όταν αυτά μεταπίπτουν στις θεμελιώδεις καταστάσεις εκπέμπεται φως.
- Ιόντα, ελεύθερα ηλεκτρόνια και φως που παράγονται χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των πυρηνικών ακτινοβολιών.

Απαριθμητές ακτινοβολίας

Τα σωματίδια ακτινοβολίας από πυρηνικές διεργασίες μετρούνται με:

- Μετρητή Geiger



- Μετρητή σπινθηρισμού



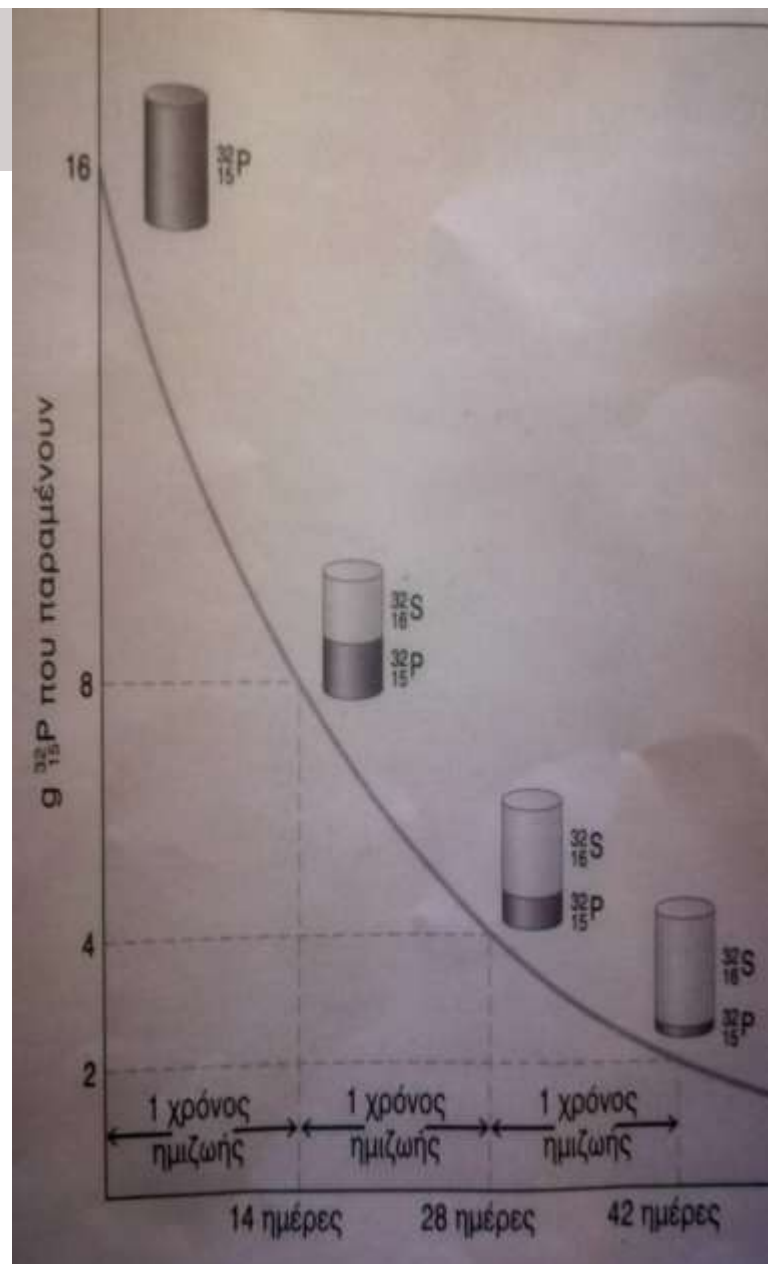
Ενεργότητα ραδιενεργούς πηγής

- Ως ενεργότητα ραδιενεργούς πηγής, καλείται ο αριθμός των πυρηνικών διασπάσεων ανά μονάδα χρόνου, που λαμβάνει χώρα σε ένα ραδιενεργό υλικό.
- Curie (Ci) **είναι η μονάδα ενεργότητας** η οποία ισούται με $3,700 \times 10^{10}$ διασπάσεις πυρήνων ανά δευτερόλεπτο.

Για παράδειγμα ένα δείγμα τεχνητίου με ενεργότητα $1,0 \times 10^{-2}$ Ci διασπάται με ρυθμό ίσο με: $(1,0 \times 10^{-2}) \times (3,7 \times 10^{10}) = 3,700 \times 10^8$ πυρήνες ανά sec.

Ημιζωή ραδιοϊσοτόπων

- Ο ρυθμός με τον οποίο ένα ραδιοϊσότοπο διασπάται, εκφράζεται με το χρόνο ημιζωής, δηλαδή το χρόνο που χρειάζεται για να διασπαστεί η μισή ποσότητα οποιουδήποτε ισοτόπου.
- Μετά το χρόνο ημιζωής ενός πυρήνα, οι μισοί πυρήνες του αρχικού δείγματος θα έχουν διασπαστεί.
- Ακόμη και μετά από πολλούς χρόνους ημιζωής ένα μικρό κλάσμα αρχικού ραδιοϊσότοπου θα παραμένει.
- Για κάθε ισότοπο ο χρόνος ημιζωής είναι σταθερός και δεν επηρεάζεται από κανένα φυσικό ή χημικό παράγοντα.



- Η ραδιενεργός διάσπαση είναι διαδικασία ταχύτητας πρώτης τάξης.
- Ο ρυθμός ραδιενεργού διάσπασης, είναι ο αριθμός των πυρήνων που διασπώνται ανά μονάδα χρόνου:

$$\text{Ρυθμός} = kN_1$$

Όπου

k: Σταθερά ραδιενεργού διάσπασης ή σταθερά διάσπασης. Είναι σταθερή και με χαρακτηριστική τιμή για κάθε νουκλίδιο.

N₁: Ο αριθμός ραδιενεργών πυρήνων σε χρόνο t

Ο αριθμός των πυρήνων N που παραμένουν μετά από χρόνο t, υπολογίζεται από την εξίσωση $\ln \frac{N_0}{N} = kt$

Όταν η μισή ποσότητα έχει διασπαστεί $N = 1/2N_0$ άρα

$$\ln \frac{N_0}{1/2N_0} = kt_{1/2} \text{ άρα } kt_{1/2} = \ln 2 \text{ άρα } t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$$

Παράδειγμα

Πηγή: Σύγχρονη Γενική Χημεία Αρχές και Εφαρμογές Ebbing Gammon,
Μετάφραση: Νικόλαος Δ. Κλούρας Καθηγητής Τμήματος Χημείας Π.Π.

Δείγμα 1,0 mg τεχνητίου-99 έχει ενεργότητα $1,7 \times 10^{-5}$ Ci και διασπάται υπό εκπομπή βήτα. Ποια η σταθερά διάστασης του ${}^{99}_{43}\text{Tc}$

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

$$\text{Ρυθμός} = 1,7 \times 10^{-5} \text{ Ci} \times \frac{3,7 \times 10^{10} \text{ πυρήνες/s}}{1,0 \text{ Ci}} = 6,3 \times 10^5 \text{ πυρήνες/s}$$

Ο αριθμός πυρήνων στο δείγμα $1,0 \times 10^{-3} \text{ g } {}^{99}_{43}\text{Tc}$ είναι

$$1,0 \times 10^{-3} \text{ g Tc-99} \times \frac{1 \text{ mol Tc-99}}{99 \text{ g Tc-99}} \times \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ Tc-99 πυρήνες}}{1 \text{ mol Tc-99}} =$$
$$= 6,1 \times 10^{18} \text{ Tc-99 πυρήνες}$$

Η σταθερά διάσπασης είναι:

$$k = \frac{\text{Ρυθμός}}{N_1} = \frac{6,3 \times 10^5 \text{ πυρήνες/s}}{6,1 \times 10^{18} \text{ πυρήνες}} = 1,0 \times 10^{-13}/\text{s}$$

Παράδειγμα

Πηγή: Αρχές Περιβαλλοντικής Χημείας, Έκδοση 3^η /2015, James Girard, ISBN: 9789605830618 Τύπος: Εκδότης: ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΤΑΙΡΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

Ο χρόνος ημιζωής του ραδονίου $^{222}_{86}\text{Rn}$ είναι 3,8 ημέρες. Αν το υπόγειό σας περιέχει 45 g $^{222}_{86}\text{Rn}$ σήμερα, πόσο θα παραμείνει μετά από 8,5 ημέρες υποθέτοντας πως προκύπτει μόνο ραδιενεργός διάσπαση;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

$$k = \frac{0,693}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{3,8 \text{ ημέρες}} = 0,18 \text{ ημέρες}^{-1}$$

$$\ln \frac{N_0}{N} = \ln \frac{\text{αρχική μάζα του Rn}}{\text{μάζα Rn μετά 8,5 ημέρες}} = kt = (0,18 \text{ ημέρα}^{-1})(8,5 \text{ ημέρες})$$

$$\text{Άρα } \ln \frac{45 \text{ g Rn}}{\text{μάζα Rn μετά 8,5 ημέρες}} = 1,5$$

$$\text{Άρα } \frac{45 \text{ g Rn}}{\text{μάζα Rn μετά 8,5 ημέρες}} = 4,5$$
$$\text{μάζα Rn μετά 8,5 ημέρες} = 10 \text{ g Rn}$$

Ραδιοχρονολόγηση

- Παρέχει τη δυνατότητα εύρεσης της ηλικίας ορυκτών και πετρωμάτων.

- Βασίζεται στη σχέση $\ln \frac{N_0}{N} = kt$

$$\text{όπου } k = 0,693 / t_{1/2}$$

Απαραίτητο να γνωρίζουμε:

- την αρχική ποσότητα N_0 του ραδιενεργού ισοτόπου,
- τη σημερινή ποσότητα του ραδιενεργού ισοτόπου N_1 ,
- το χρόνο ημιζωής του ισοτόπου $t_{1/2}$,
- τα σύμβολα των νουκλιδίων.

Παράδειγμα

(Πηγή: Αρχές Περιβαλλοντικής Χημείας, Έκδοση 3η /2015, James Girard)

Δείγμα πετρώματος βρέθηκε να περιέχει 13,2 mg ^{238}U και 3,42 mg ^{206}Pb . Αν η ημιζωή του $^{238}_{92}\text{U}$ είναι $4,51 \times 10^9$ χρόνια ποια είναι η ηλικία του πετρώματος;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Πρώτα υπολογίζουμε το ^{238}U που υπήρχε στο πέτρωμα όταν σχηματίστηκε και πρέπει να ισούται με 13,2 mg συν το ποσό που διασπάστηκε για να παράγει ^{206}Pb .

Αυτό το ποσό υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το ποσό του ^{206}Pb που υπάρχει τώρα με το κλάσμα της σχετικής ατομικής μάζας του ουρανίου προς αυτή του μολύβδου.

$$(3,42 \text{ mg } ^{206}\text{Pb}) \left(\frac{238 \text{ g U mol}^{-1}}{206 \text{ g Pb mol}^{-1}} \right) = 3,95 \text{ mg } ^{238}\text{U}$$

Άρα το αρχικό ποσό του ^{238}U στο ορυκτό = $(13,2 + 3,95) \text{ mg}$

$$\ln \frac{N_0}{N} = kt \quad \text{Άρα } \ln \frac{N_0}{N} = \frac{0,693}{t_{1/2}} (t)$$

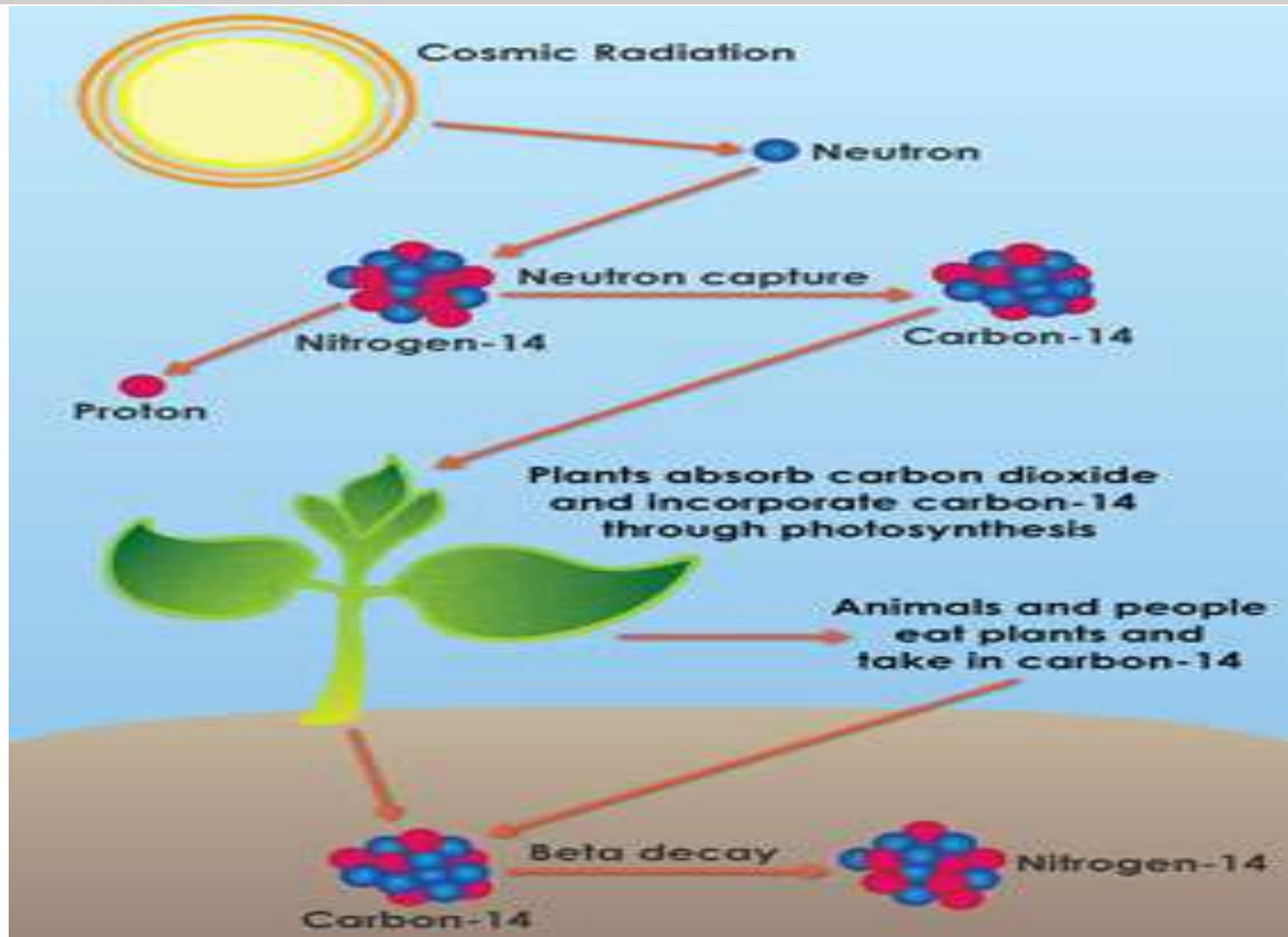
Αντικαταστήσαμε την τιμή του k με $0,693/t_{1/2}$

$$\ln \frac{17,2 \text{ mg}}{13,2 \text{ mg}} = \frac{0,693}{4,51 \times 10^9 \text{ χρόνια}} (t) \quad \text{άρα } t = 1,7 \times 10^9 \text{ χρόνια}$$

Ραδιοχρονολόγηση

- Το Ουράνιο-238 που είναι φυσικό συστατικό των περισσότερων πετρωμάτων και έχει ημιζωή 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια είναι κατάλληλο για χρονολόγηση πετρωμάτων δισεκατομμυρίων χρόνων.
- Ο άνθρακας-14 που έχει χρόνο ημιζωής 5.730 έτη είναι κατάλληλότερος για αντικείμενα κάποιων χιλιάδων ετών.
- Υπάρχουν και άλλα ραδιοϊσότοπα που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της ηλικίας αντικειμένων για παράδειγμα ορισμένα από αυτά είναι το θόριο-232, το στρόντιο-87, ο μόλυβδος-207, ο μόλυβδος-206, ο μόλυβδος-208 και άλλα.

Ραδιοάθρακας



Ο C-14 σχηματίζεται φυσικά στην ανώτερη ατμόσφαιρα με αρκετά σταθερό ρυθμό, όταν νετρόνια που εξέρχονται από σταθερούς πυρήνες μέσω κοσμικών ακτίνων, αλληλεπιδρούν με τον πυρήνα αζώτου:

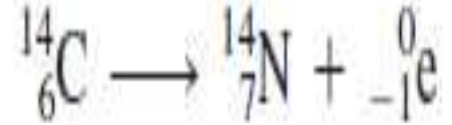


Ο ραδιενεργός C-14 αντιδρά με το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα, για να σχηματίσει ραδιενεργό διοξείδιο του άνθρακα, (${}^{14}_{6}\text{CO}_2$)

Το ραδιενεργό διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του άνθρακα, ενσωματώνονται στα φυτά με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, και στα ζώα με τις τροφικές αλυσίδες και την αναπνοή.

Σε ιστούς ζωντανού οργανισμού, η αναλογία του ραδιενεργού διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του άνθρακα παραμένει σταθερή.

Όταν ο οργανισμός πεθαίνει σταματά να λαμβάνει διοξείδιο του άνθρακα. Ο C-14 εξαφανίζεται αργά από τους ιστούς αφού εκπέμπει σωματίδια β σύμφωνα με το χρόνο ημιζωής του και γίνεται N-14:



Ο μη ραδιενεργός C-12 δεν αλλάζει.

Εάν μετρηθεί ο χρόνος ημιζωής του C-14 ενός αντικειμένου, μαθαίνουμε την ηλικία του.

Η χρονολόγηση του C-14, είναι γνωστή ως χρονολόγηση με ραδιενεργό άνθρακα.

Στους ζωντανούς οργανισμούς συμβαίνουν 15,3 διασπάσεις άνθρακα-14 ανά λεπτό και ανά γραμμάριο άνθρακα.

Πεθαίνοντας ο οργανισμός ο ρυθμός διάσπασης μειώνεται εξαιτίας του χρόνου ημιζωής του ισοτόπου ο οποίος είναι 5.730 χρόνια.

• Επειδή το ποσό του άνθρακα-14 στη ζωντανή ύλη είναι μικρό, συνήθως μετράται με μετρητή Geiger ή σπινθηρογράφημα ο ρυθμός διάσπασης του άνθρακα-14 με μέτρηση του αριθμού διασπάσεων ανά δευτερόλεπτο και ανά γραμμάριο υλικού.

• Ο ρυθμός διάσπασης R σε χρόνο t είναι ανάλογος του αριθμού των N των ραδιενεργών πυρήνων σε χρόνο t

• $t = \frac{t_{1/2}}{0,693} \ln \frac{R_0}{R}$ Για άνθρακα $R_0 =$ διασπάσεις ανά λεπτό και ανά γραμμάριο και $t_{1/2} = 5.730$ χρόνια

$$t = \frac{5.730}{0,693} \ln \frac{15,3}{R} = 8,27 \times 10^3 \ln \frac{15,3}{R}$$

Με βάση την εξίσωση αυτή μπορεί να προσδιοριστεί ο χρόνος που πέρασε από το θάνατο κάποιου ζωντανού οργανισμού.

Παράδειγμα

(Πηγή: Αρχές Περιβαλλοντικής Χημείας, Έκδοση 3η /2015, James Girard)

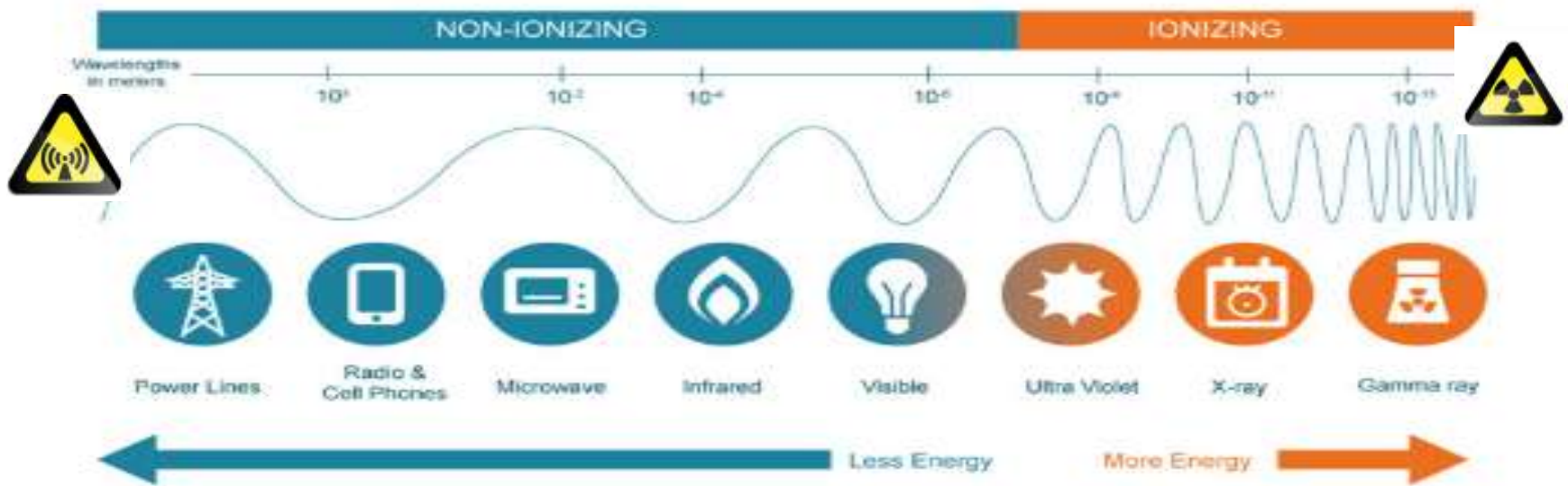
Δείγμα ξύλου από αρχαία αποικία τοποθετήθηκε μπροστά σε σωλήνα μετρητή Geiger και έδωσε ένδειξη 13, 6 διασπάσεις να λεπτό και ανά γραμμάριο. Ποια η ηλικία του ξύλου;

$$t = 8,27 \times 10^3 \ln \frac{15,3}{R} = 8,27 \times 10^3 \ln \frac{15,3}{13,6} = 974 \text{ χρόνια}$$

Άλλες χρήσεις ραδιοϊσότοπων

- Ιατρική,
- βιομηχανία: ραδιογραφήσεις, ακτινοβολητές για αποστείρωση υλικών, συσκευές για έλεγχο ποιοτικών παραμέτρων, κ.ά.
- παραγωγή ενέργειας (πυρηνικά εργοστάσια),
- γεωργία, έρευνα και εκπαίδευση.

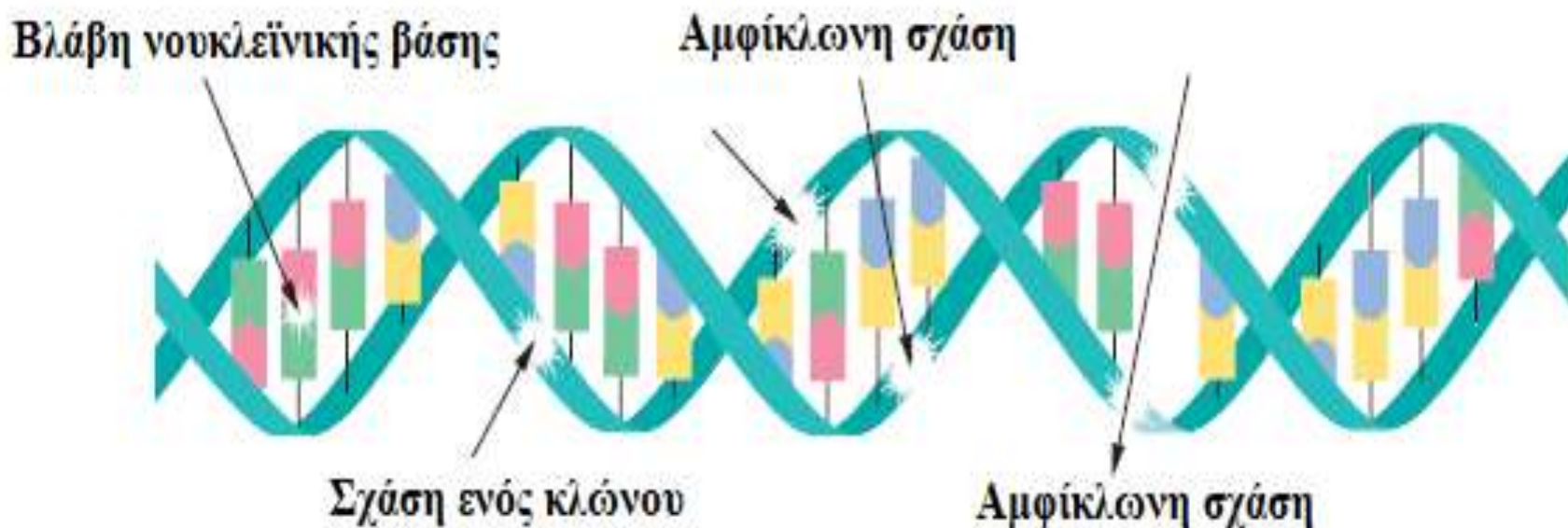
Οι επιβλαβείς επιδράσεις της ραδιενέργειας, οφείλονται στο ότι αυτή έχει αρκετή ενέργεια ώστε να αποσπά ηλεκτρόνια από άτομα και μόρια και να σχηματίζει θετικά φορτισμένα ιόντα και δραστικές ελεύθερες ρίζες. Ακριβώς για το λόγο αυτό λέγεται ιοντίζουσα ακτινοβολία.



<https://www.mirion.com/learning-center/radiation-safety-basics/what-is-radiation>

η υπεριώδης ακτινοβολία έχει ταξινομηθεί στις μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες, όμως έχει ενέργεια επαρκή ώστε να προκαλέσει χημικές αντιδράσεις, ιονισμό βιολογικών μορίων και φωτοχημικά φαινόμενα.

- Κάποια από τα ιόντα που δημιουργεί η ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι πολύ δραστικά και διασπώντας χημικούς δεσμούς, διακόπτουν τη φυσιολογική λειτουργία των κυττάρων στους ζωντανούς οργανισμούς. Μπορούν να δημιουργήσουν ανωμαλίες στο γενετικό υλικό DNA και να αυξήσουν τον κίνδυνο για καρκίνο.



Μονάδες ραδιενέργειας

- **1 Becquerel (Bq):** Η δραστηριότητα ραδιενεργού υλικού στο οποίο έχουμε μια διάσπαση ανά δευτερόλεπτο.
- **Curie, Ci:** $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10}$ διασπάσεις το δευτερόλεπτο.
Μεγάλη δόση ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία από φυσική προέλευση είναι μόνο δυο διασπάσεις ανά δευτερόλεπτο
- **rad:** Μετρά την ποσότητα ενέργειας που ελευθερώνεται στον ιστό όταν προσβάλλεται από την ακτινοβολία.
- **gray:** $1 \text{ gray} = 100 \text{ rad}$
- **rem:** Λαμβάνει υπόψη την πιθανή ζημιά που προκαλείται στον οργανισμό από τους διάφορους τύπους ακτινοβολίας. Για ακτίνες X, γ, β, το $1 \text{ rad} = 1 \text{ rem}$. Για τα σωματίδια α που έχουν μεγαλύτερη ικανότητα ιονισμού, 1 rad είναι ίσο με 10 ή 20 rem.
- **sievert:** Η νέα διεθνής μονάδα που αντικαθιστά το rem $1 \text{ sievert} = 100 \text{ rem}$

Από τι εξαρτάται η επίδραση της ραδιενέργειας

- 1. Από τον τύπο και τη διεισδυτική ικανότητα της ακτινοβολίας:** Ο λιγότερο επικίνδυνος τύπος, είναι τα σωματίδια άλφα από πηγή έξω από το σώμα. Οι ακτίνες X βρίσκονται μεταξύ β και γ.
- 2. Από τη θέση της πηγής της ακτινοβολίας (μέσα ή έξω από το σώμα).** Π.χ. πηγή εκπομπής σωματιδίων άλφα που θα καταποθεί, (μέσω τροφής) ή θα εισέλθει με εισπνοή στο σώμα, (αέρας π.χ. ραδόνιου) μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη.
- 3. Από τον τύπο του ιστού που εκτίθεται:** Κύτταρα που διαιρούνται γρήγορα, είναι ευάλωτα στην ακτινοβολία. Π.χ. του μυελού των οστών, του εσωτερικού του γαστρεντερικού σωλήνα, των αναπαραγωγικών οργάνων, του σπλήνα και των λεμφαδένων. Τα έμβρυα είναι πολύ ευαίσθητα στην ακτινοβολία. Τα καρκινικά κύτταρα πολλαπλασιάζονται πολύ γρήγορα και σκοτώνονται ευκολότερα από ακτινοβολία σε σχέση με τα υγιή.
- 4. Από το ποσό και τη συχνότητα της έκθεσης.**

Εάν πηγή εκπομπής σωματιδίων άλφα εισέλθει στο σώμα με κατάποση, (μολυσμένο τρόφιμο), ή με εισπνοή (αέρας π.χ. ραδόνιου) τότε η ζημιά στον οργανισμό μπορεί να είναι σοβαρή

- Τα σωματίδια άλφα μέσα στο σώμα είναι πιο βλαβερά από τα βήτα ή γάμμα. Λόγω της μικρής τους διεισδυτικής ικανότητας, σχηματίζουν ιόντα πιο εύκολα στους περιβάλλοντες ιστούς, διότι η ακτινοβολία που λαμβάνεται ανά μονάδα περιοχής είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή που λαμβάνεται ανά μονάδα περιοχής από τα βήτα και γάμμα
- Οι ακτινοβολίες βήτα και γάμμα έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα, καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις από την άλφα και μεταφέρουν την ενέργεια σε μεγαλύτερη περιοχή ιστών. Αποτέλεσμα είναι η ικανότητα σχηματισμού ιόντων να μειώνεται, αφού η ακτινοβολία ανά μονάδα περιοχής γίνεται μικρότερη.

- **Αποτελέσματα που προκαλεί η ραδιενέργεια στους ιστούς:**
 1. **Σωματικά:** Προσβολή οργάνων παραγωγής ερυθρών και λευκών αιμοσφαιρίων(μυελός οστών, λυμφατικά, γάγγλια, σπλήνα καθώς και άλλα)
 2. **Γενετικά:** Απότομες μεταβολές των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των γενετησίων κυττάρων, Μεταλλάξεις
- **Η ραδιενέργεια επιδρά στους ανθρώπους και στους οργανισμούς γενικότερα με δυο τρόπους:**
 - A. Όταν είναι εκτεθειμένοι στην ακτινοβολία που προσπίπτει στο σώμα, Εξωτερική επίδραση
 - B. Όταν ραδιενεργά υλικά καταλήξουν στον ανθρώπινο οργανισμό, εσωτερική επίδραση

Φυσικές πηγές ραδιενέργειας

- Στο φυσικό περιβάλλον η ακτινοβολία προέρχεται από το έδαφος και την ατμόσφαιρα.
- Πετρώματα, νερό και αέρας, περιλαμβάνουν φυσικά ραδιενεργά στοιχεία όπως το κάλιο, το ράδιο, το ουράνιο και το ραδόνιο.
- Η ακτινοβολία του εδάφους σε συγκεκριμένη θέση, εξαρτάται άμεσα από τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής.

- Το ραδόνιο-222 (ημιζωή 3,8 ημέρες), είναι φυσικό ραδιενεργό αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και αδρανές και προέρχεται από τη διάσπαση του ραδίου, θυγατρικού του ουρανίου-238.
- Εξαιτίας της παρουσίας του ραδονίου στο έδαφος, στα πετρώματα και στο νερό, αλλά και στα προερχόμενα από αυτά οικοδομικά υλικά, το ραδόνιο βρίσκεται σε όλα τα κτίρια και **σε αυτό αποδίδεται το μεγαλύτερο μέρος της ετήσιας δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ο ανθρώπινος οργανισμός.**
- **Οι συγκεντρώσεις ραδονίου που ανιχνεύονται στην Ελλάδα, είναι συγκρίσιμες με εκείνες άλλων ευρωπαϊκών χωρών.**



Το ραδόνιο δεν μπορούμε να το αντιληφθούμε με τις αισθήσεις. Χρειάζεται ειδικός εξοπλισμός για την αποτύπωσή του

- Το ραδόνιο και τα βραχύβια ραδιενεργά θυγατρικά του, μέσω της αναπνοής εισέρχονται στους πνεύμονες και τους ακτινοβολούν.
- Το ραδόνιο είναι χημικά αδρανές και ο χρόνος ημιζωής του είναι μεγάλος συγκρινόμενος με το χρόνο της αναπνοής. Άρα μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό από το εισπνεόμενο προλαβαίνει να διασπαστεί μέσα στους πνεύμονες.
- Αντίθετα, τα θυγατρικά του ραδονίου (Po-218, Pb-214, Bi-214 και Po-214) δεν είναι αδρανή και λίγο μετά το σχηματισμό τους προσκολλώνται σε αιωρούμενα σωματίδια, αεροζόλ, που με την εισπνοή επικάθονται στο πνευμονικό επιθήλιο. Στη συνέχεια διασπώνται μέσα στους πνεύμονες, εκπέμποντας κυρίως σωματίδια άλφα, που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στις κυψελίδες του πνεύμονα, και να αυξήσουν την πιθανότητα ανάπτυξης καρκίνου.



- Το ^{90}Sr , το ^{137}Cs , το ^{131}I , είναι ραδιενεργά στοιχεία τα οποία μέσω της τροφικής αλυσίδας καταλήγουν στον ανθρώπινο οργανισμό.
 - **^{90}Sr :** Επικίνδυνο διότι έχει μεγάλο χρόνο ημιζωής ίσο με 28 έτη και διότι έχει χημική συγγένεια με το ασβέστιο. Όταν εισέρχεται στον οργανισμό αποτίθεται στα οστά, δημιουργώντας πηγή ακτινοβολίας και προξενώντας κυρίως καρκίνο των οστών.
 - **^{137}Cs :** Έχει χρόνο ημιζωής 30 χρόνια, σχηματίζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες από το στρόντιο και κυρίως προκαλεί γενετικές βλάβες. Ωστόσο τα άλατα του είναι υδατοδιαλυτά και απομακρύνονται από το σώμα εύκολα.
 - **Ιώδιο-131:** Εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα με το γάλα, συσσωρεύεται στο θυροειδή αδέννα και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για τα παιδιά.

- Η επιφάνεια της γης δέχεται συνέχεια κοσμική ακτινοβολία, μια μορφή ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, που προέρχεται από τον ήλιο, αλλά και άλλες άγνωστες ακόμη αστρικές πηγές.
 - Αύξηση της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρείται κατά τις εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας.
 - Η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας μειώνεται σταδιακά κατά τη διέλευσή της μέσα από τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας, διότι αυτή απορροφάται μερικώς. Η ένταση άρα της κοσμικής ακτινοβολίας, εξαρτάται από το υψόμετρο και οι άνθρωποι που ζουν σε μεγάλα υψόμετρα λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία κάθε χρόνο σε σχέση με αυτούς που ζουν στην επιφάνεια της θάλασσας.

- Η τροφική αλυσίδα αποτελεί ακόμη μια φυσική πηγή πρόσληψης ραδιενεργών στοιχείων. Ο άνθρακας -14, ο οποίος προκύπτει φυσικά, ίχνη καλίου-40, θορίου-223 και ουρανίου-238, βρίσκονται στην τροφή, στο νερό και στον αέρα και εισέρχονται και αυτά στον οργανισμό με την τροφή ή την εισπνοή.

Ραδιενέργεια από ανθρώπινες δραστηριότητες

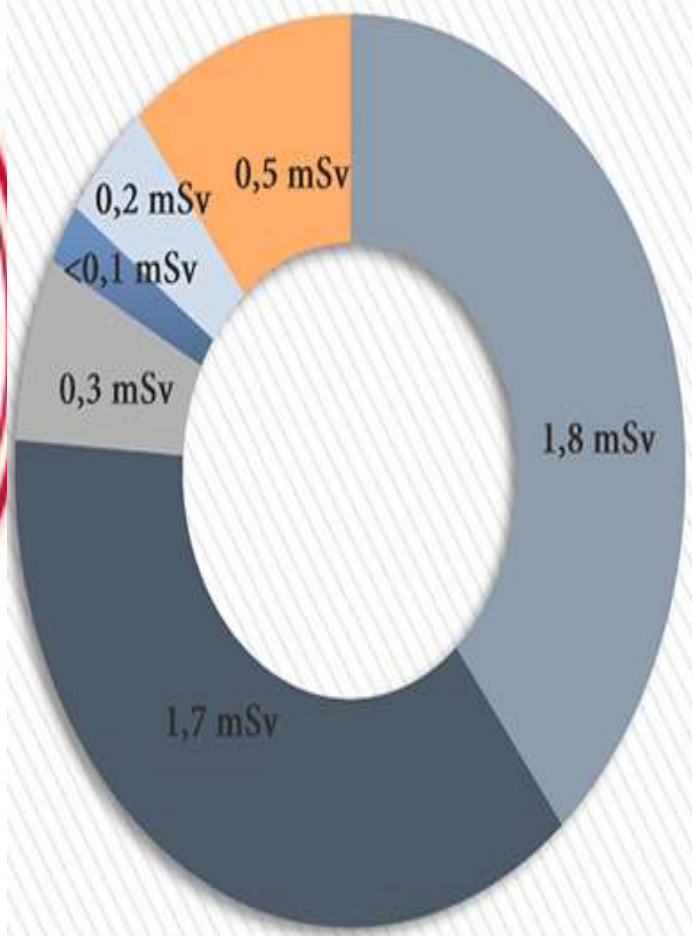
- Ιατρική,
- βιομηχανία: ραδιογραφήσεις, ακτινοβολητές για αποστείρωση υλικών, συσκευές για έλεγχο ποιοτικών παραμέτρων, κ.ά.
- παραγωγή ενέργειας (πυρηνικά εργοστάσια),
- γεωργία, έρευνα και εκπαίδευση.

20 mSv

Όριο ετήσιας έκθεσης σε ακτινοβολία των επαγγελματικά εκτειθέμενων

1 mSv

Όριο ατομικής ετήσιας έκθεσης σε ακτινοβολία του γενικού πληθυσμού



- Ιατρικές εξετάσεις
- Ραδόνιο
- Κοσμική ακτινοβολία
- Εξωτερικοί χώροι
- Κατάποση (διατροφή)
- Οικοδομικά υλικά

ΠΡΙΣΜΑ - Ολιστική εκτίμηση της ακτινικής επιβάρυνσης του πληθυσμού και ανάπτυξη εθνικού πληροφοριακού συστήματος για τις ακτινοβολίες (ΓΓΕΤ, Δράση ΚΡΗΠΙΣ, ΕΣΠΑ, 2007-2013)

**Από παρατηρήσεις που έγιναν σε
θύματα ατομικών βομβών το 1945 στην
Ιαπωνία και από τα ατυχήματα σε
πυρηνικούς αντιδραστήρες, έχουν
καθοριστεί οι συσχετίσεις ανάμεσα στις
δόσεις ραδιενέργειας και στις
επιπτώσεις στον άνθρωπο.**

Δόση (rem)	Επιδράσεις
<50	Όχι σοβαρές επιδράσεις. Πιθανά μικρή αλλοίωση στο σχηματισμό του αίματος δόση γύρω στα 25 rem
50-250	Κούραση, ναυτία, μειωμένη παραγωγή λευκών αιμοσφαιρίων και αιμοπεταλίων στο αίμα, αυξημένη πιθανότητα λευχαιμίας
250-500	Ίδια με 50-250 rem αλλά πιο σοβαρά, έμετος, διάρροια, βλάβη στο εσωτερικό του γαστρεντερικού συστήματος, μεγάλη επιρρέπεια σε μολύνσεις λόγω χαμηλών λευκών αιμοσφαιρίων.
500-1.000	Βλάβη στο καρδιαγγειακό σύστημα, τον εντερικό σωλήνα και στον εγκέφαλο, θάνατος σε λίγες εβδομάδες
1.000 – 10.000	Τα ίδια με 500-1.000 rem αλλά πιο σοβαρά, θάνατος σε λίγες ώρες στα 10.000 rem
100.000	Άμεσος θάνατος

Ενέργεια πυρηνικών αντιδράσεων

Τεράστιες οι μεταβολές της ενέργειας κατά τη διάρκεια των πυρηνικών αντιδράσεων σε σχέση με αυτές κατά τη διάρκεια των χημικών.

Χρήσεις ενέργειας πυρηνικών αντιδράσεων:

- Σε εργοστάσια πυρηνικής ισχύος για παραγωγή ηλεκτρισμού,
- για παροχή ενέργειας σε πυρηνικά όπλα.

Αρχή ισοδυναμίας μάζας ενέργειας του Einstein

- Με κάθε μάζα συνδέεται μια ενέργεια.
- Με κάθε ενέργεια συνδέεται μια μάζα.
- Η μάζα και η ενέργεια συνδέονται με την εξίσωση: $E = mc^2$


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

Εξίσωση Einstein

Η μάζα ενός ατόμου είναι πάντοτε μικρότερη από το άθροισμα των μαζών όσων σωματιδίων το απαρτίζουν.

Σε περίπτωση που νουκλεόνια πλησιάζουν μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα πυρήνα, ελευθερώνεται ενέργεια.

Ο πυρήνας άρα έχει λιγότερη ενέργεια και κατά συνέπεια είναι σταθερότερος από τα μεμονωμένα νουκλεόνια.

Θα πρέπει άρα να υπάρχει και ελάττωση σε μάζα σύμφωνα με την εξίσωση Einstein.

Έλλειμμα μάζας

- Η συνολική μάζα ηλεκτρονίων, πρωτονίων και νετρονίων του ατόμου, μείον την ατομική μάζα.
- Ισοδυναμεί με την ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα, η οποία ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση του πυρήνα στα μεμονωμένα πρωτόνια και νετρόνιά του.

Νουκλίδια τα οποία έχουν μαζικούς αριθμούς κοντά στο 50 έχουν τις μεγαλύτερες ενέργειες σύνδεσης ανά νουκλεόνιο.

Άρα μια ομάδα νουκλεονίων θα είχε την τάση να σχηματίσει τέτοια νουκλίδια, εφόσον με τον τρόπο αυτό θα προέκυπταν πυρήνες χαμηλότερης ενέργειας.

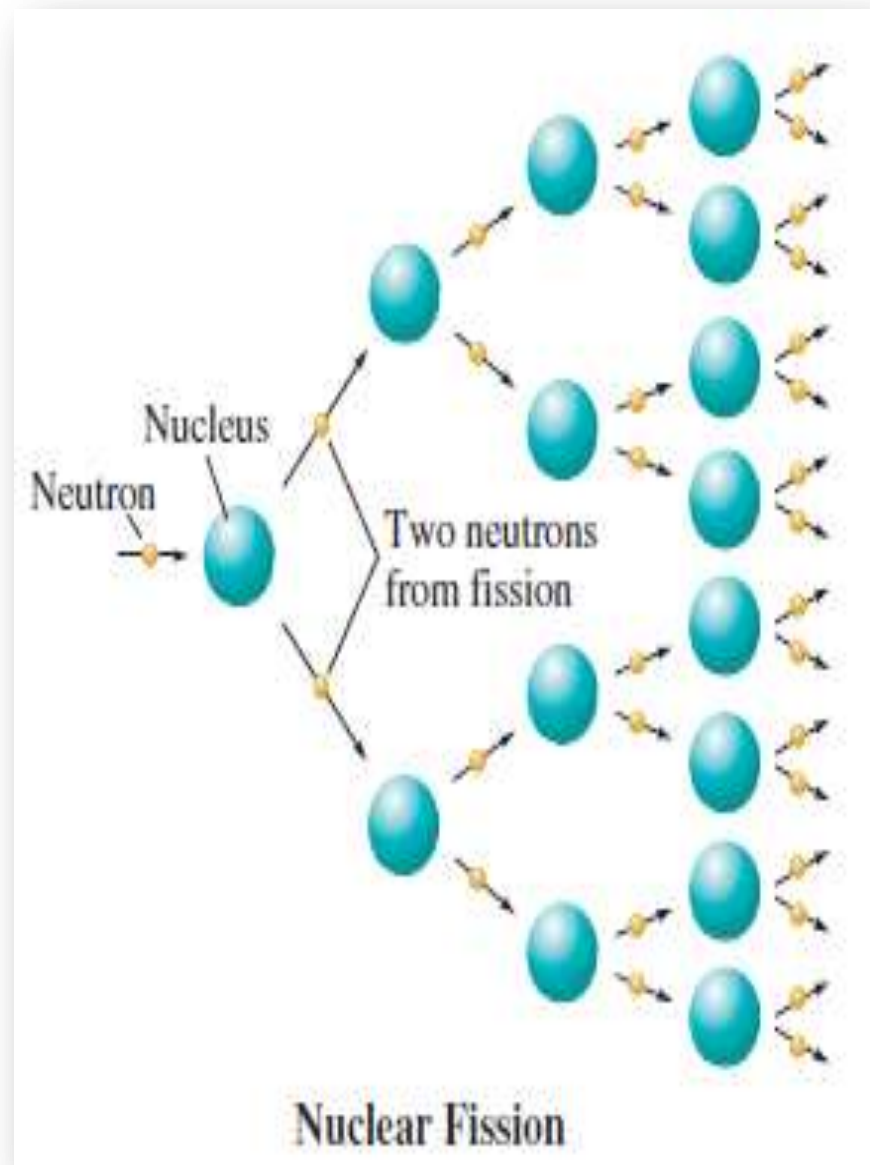
- Βαρείς πυρήνες σχάζονται, δίνοντας ελαφρύτερους.
- Ελαφρείς πυρήνες αντιδρούν ή συνενώνονται, για να σχηματίσουν βαρύτερους πυρήνες

Πυρηνική σχάση:

Μια πυρηνική αντίδραση κατά την οποία ένας βαρύς πυρήνας σχάζεται σε ελαφρύτερους, με ελευθέρωση ενέργειας.

Ένας πυρήνας είναι δυνατόν να υποχρεωθεί να υποστεί σχάση, εάν βομβαρδιστεί με νετρόνια.

Παράδειγμα η πυρηνική σχάση του ουρανίου-235.



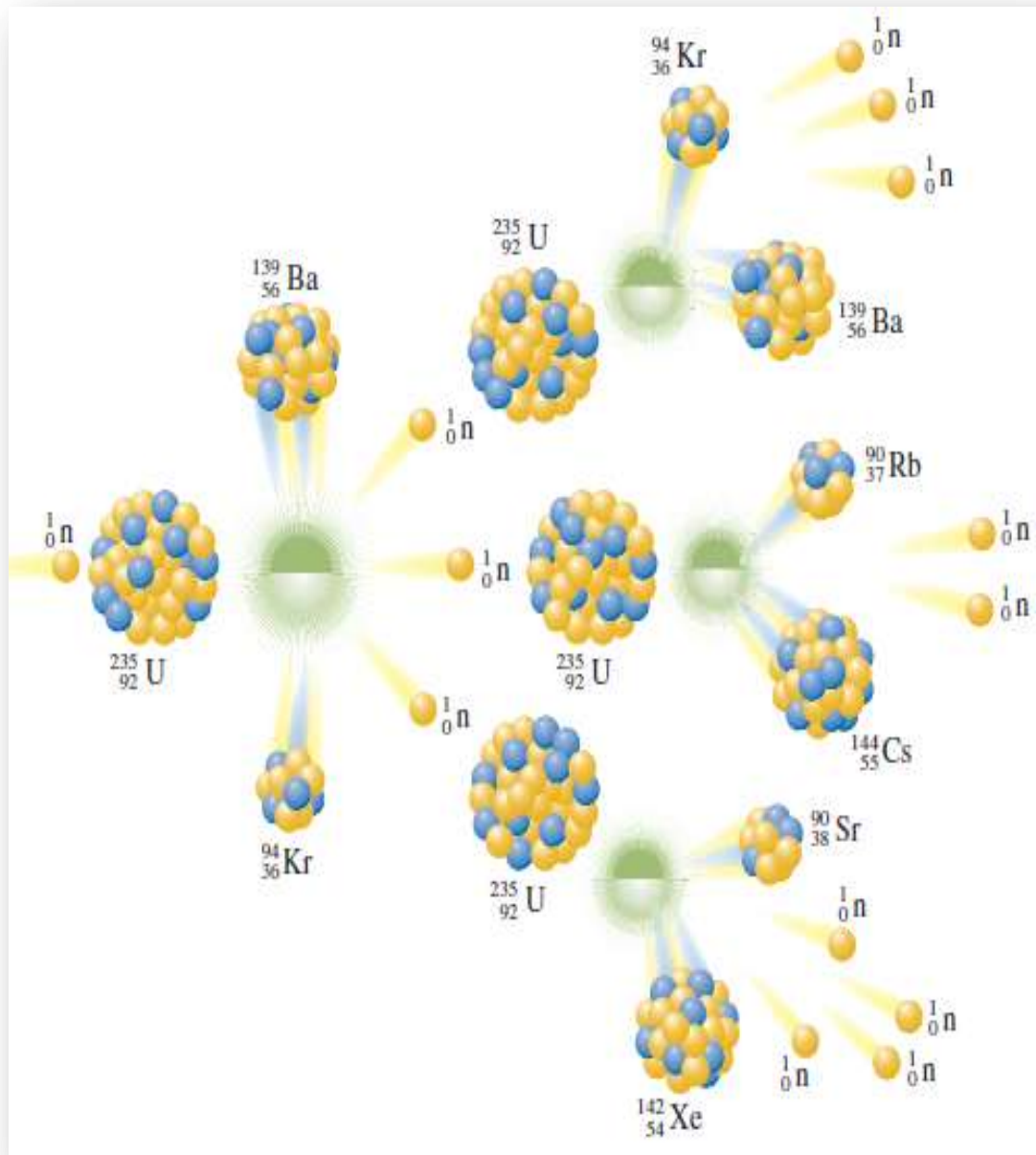
Εικόνα από: General Chemistry Ebbing Gammon,
9th Edition

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΩΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ:

Αυτοσυντηρούμενη
σειρά πυρηνικών
σχάσεων, η οποία
προκαλείται από την
απορρόφηση νετρονίων
που ελευθερώνονται
από τις προηγούμενες
πυρηνικές σχάσεις.

ΚΡΙΣΙΜΗ ΜΑΖΑ:

Η ελάχιστη μάζα του
σχάσιμου υλικού που
μπορεί να συντηρήσει
μια αλυσιδωτή
αντίδραση.



Εικόνα από: General Chemistry Ebbing Gammon,
9th Edition

- **ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ
ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ
ΣΧΑΣΗΣ**

Συσκευή που επιτρέπει μια ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση πυρηνικών σχάσεων.

- **ΑΤΟΜΙΚΗ ΒΟΜΒΑ**

Πυροδοτείται με μικρή ποσότητα χημικού εκρηκτικού, το οποίο προωθεί δύο ή και περισσότερες μάζες σχάσιμου υλικού και τις φέρνει σε επαφή. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας υπερκρίσιμης μάζας και μιας γρήγορης αλυσιδωτής αντίδρασης που οδηγεί στη σχάση των περισσότερων σχάσιμων πυρήνων και στη απελευθέρωση τεράστιου ποσού ενέργειας με έκρηξη.

Προβλήματα με την πυρηνική ενέργεια

- Ένα πυρηνικό εργοστάσιο δεν θα μπορούσε ποτέ να ανατιναχθεί σαν ατομική βόμβα, διότι το καύσιμο δεν είναι επαρκώς εμπλουτισμένο με ουράνιο-235.
- Ο κίνδυνος ωστόσο του ανθρώπινου λάθους και η μηχανική βλάβη, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σοβαρότατα ατυχήματα (1979, νησί Three Mile στην Πενσυλβάνια, 1986 στο Τσερνόμπιλ, Σοβιετική Ένωση).
- Οι τεράστιες ποσότητες σπασμένου πετρώματος που απορρίπτεται και απομένει από την επεξεργασία του μεταλλεύματος του ουρανίου, αποτελούν πηγή μικρής ποσότητας ραδιενέργειας, η οποία ίσως οδηγηθεί στα υπόγεια νερά η διασκορπιστεί στην ατμόσφαιρα με τη μορφή σκόνης που θα παρασυρθεί από τον άνεμο.

Προβλήματα με την πυρηνική ενέργεια

- Βασικό πρόβλημα αποτελεί η απόρριψη των αποβλήτων τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες ραδιενέργειας και τα οποία παράγονται στη διάρκεια λειτουργίας του εργοστασίου πυρηνικής ενέργειας. Τα απόβλητα, (προϊόντα σχάσης και ράβδοι που καταναλώθηκαν), πρέπει να αποθηκεύονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι εντελώς απομονωμένα από την ατμόσφαιρα.
- Μετά τα 30 χρόνια λειτουργίας ένα πυρηνικό εργοστάσιο θα πρέπει να κλείσει, (να παροπλιστεί), διότι ο συνεχής βομβαρδισμός των συστατικών του εργοστασίου με νετρόνια, κάνει τα μέταλλα εύθραυστα και οι πιθανότητες ρωγμών και διαρροών ακτινοβολίας αυξάνονται.

Προβλήματα με την πυρηνική ενέργεια

- Το εργοστάσιο μένει ενεργό και κατόπιν της αφαίρεσης των ράβδων του καυσίμου που καταναλώθηκαν και του νερού που κυκλοφορεί.

ΤΡΟΠΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ

1. Να μείνει κλειστό, να περιφραχθεί και να φρουρείται. Η πιο φθηνή λύση βραχυπρόθεσμα. Όταν τα επίπεδα ακτινοβολίας μειωθούν, το εργοστάσιο μπορεί να ανακαινιστεί ή να κατεδαφιστεί.
2. Να ενταφιαστεί το εργοστάσιο, δηλαδή να σφραγιστεί με τσιμέντο. Αυτό έγινε στο Τσερνόμπιλ.

Προβλήματα με την πυρηνική ενέργεια

- **ΤΡΟΠΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ**

3. Να κατεδαφιστεί πλήρως το παροπλισμένο εργοστάσιο, όλα τα μέρη του να διαλυθούν και να κοπούν σε μικρότερα κομμάτια. Τα μολυσμένα με ραδιενέργεια υλικά να σταλούν σε ασφαλή εγκατάσταση για μόνιμη αποθήκευση. Το κόστος της παρόπλισης και της πλήρους κατεδάφισης εργοστασίου πυρηνικής ενέργειας αγγίζει τα τρία δισεκατομμύρια δολάρια.

- 1986: Τσερνόμπιλ

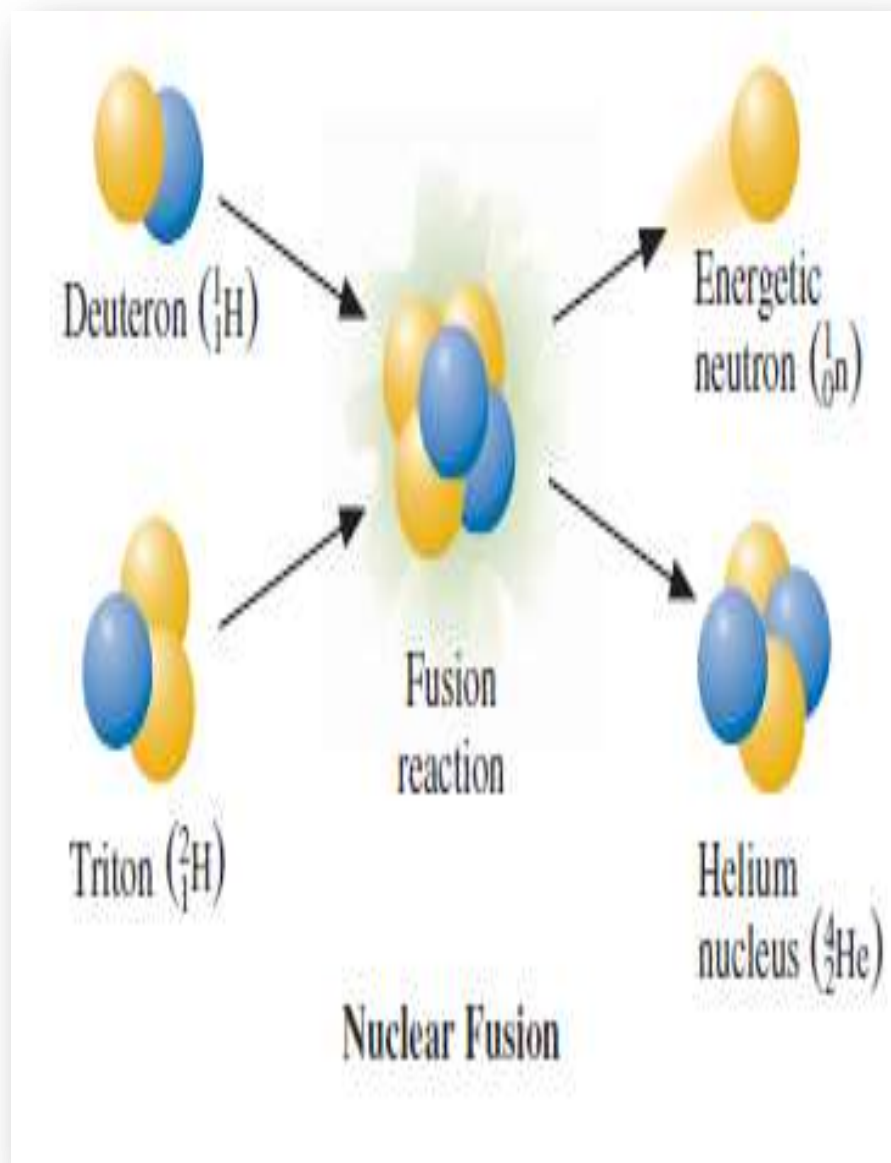
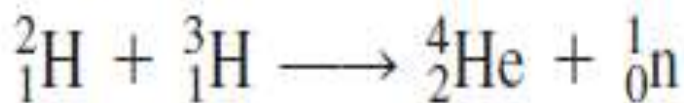


16 Μαρτίου 2011: Η πυρηνική καταστροφή στο Fukushima Daiichi που ακολούθησε του σεισμού και του τσουνάμι στο Tōhoku.



Πυρηνική σύντηξη:

Πυρηνική αντίδραση στην οποία πραγματοποιείται συνένωση ελαφρύτερων πυρήνων, με σκοπό τη δημιουργία βαρύτερου και σταθερότερου πιθανά μαζί με αρκετά νετρόνια. Ταυτόχρονα ελευθερώνεται ενέργεια.



Εικόνα από: General Chemistry Ebbing Gammon, 9th Edition

- Η σύντηξη των ατόμων υδρογόνου είναι η πρωταρχικής σημασίας ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο.
- Πολλοί είναι οι επιστήμονες που πιστεύουν πως εάν η ελεγχόμενη σύντηξη μπορούσε να επιτευχθεί, θα έλυσε το πρόβλημα της ενέργειας. Ωστόσο οι τεχνικές δυσκολίες είναι τεράστιες. Απαιτείται θερμοκρασία των επιπέδων του ήλιου για να συνδυαστούν τα άτομα του υδρογόνου, αλλά κι αν η θερμοκρασία αυτή μπορούσε να επιτευχθεί θα έπρεπε να βρεθεί δοχείο να την αντέξει.

- Η σύντηξη των δύο ισοτόπων του υδρογόνου τυγχάνει μεγαλύτερης προσοχής εφόσον απαιτεί χαμηλότερη θερμοκρασία.



- Το δευτέριο είναι ισότοπο φυσικό που μπορεί να παραληφθεί σε απεριόριστες ποσότητες από το θαλασσινό νερό.
- Το τρίτιο όμως είναι ασταθές ισότοπο και θα πρέπει να παραχθεί με βομβαρδισμό του λιθίου με νετρόνια.
- Η πυρηνική σύντηξη παράγει λίγα ραδιενεργά απόβλητα, όμως ο κίνδυνος διαρροής τρίτιου αποτελεί μειονέκτημα, όπως και η θερμική μόλυνση. Εξάλλου τα γνωστά αποθέματα λιθίου είναι ελάχιστα.

Καμία από τις μεθόδους πυρηνικής σύντηξης που σήμερα δοκιμάζονται δεν έχει πετύχει παρατεταμένη ελεγχόμενη σύντηξη.

Άρα η πυρηνική σύντηξη δεν προβλέπεται να γίνει μια πρακτική πηγή ενέργειας για το άμεσο μέλλον.

Βιβλιογραφία

- Αρχές Περιβαλλοντικής Χημείας, Έκδοση 3^η /2015, James Girard, ISBN: 9789605830618 Τύπος: Εκδότης: ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΤΑΙΡΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ
- ΧΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, 1997, Θεμιστοκλή Αθ. Κουϊμτζή, Καθηγήτη Α.Π.Θ., Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- Σύγχρονη Γενική Χημεία Αρχές και Εφαρμογές Ebbing Gammon, Μετάφραση: Νικόλαος Δ. Κλούρας Καθηγητής Τμήματος Χημείας Π.Π. Εκδόσεις Τραυλός
- Αρχές Περιβαλλοντικής Γεωχημείας, Έκδοση 1^η /2011, G. NELSON EBY, Εκδόσεις Σπυρίδων Κωσταράκης, ISBN: 978-960-99858-6-4
- Περιβαλλοντική Χημεία, Έκδοση 1^η/2016, IBANEZ G. JORGE, HERNANDEZ-ESPARZA MARGARITA, DORIA-SERRANO CARMEN, FREGOSO-INFANTE ARTURO, SINGH MONO MOHAN, ISBN: 978-960-524-448-4, ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ- ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ
- <https://eeae.gr>