



ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ



ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΙΝΟΒΟΛΙΑ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

- Τι είναι η ιοντίζουσα ακτινοβολία.
- Πως αλληλεπιδρά με την ύλη.
- Στοιχεία δοσιμετρίας.
- Επιπτώσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς.
- Έκθεση του ανθρώπου σε ιοντίζουσα ακτινοβολία.
- Εφαρμογές.



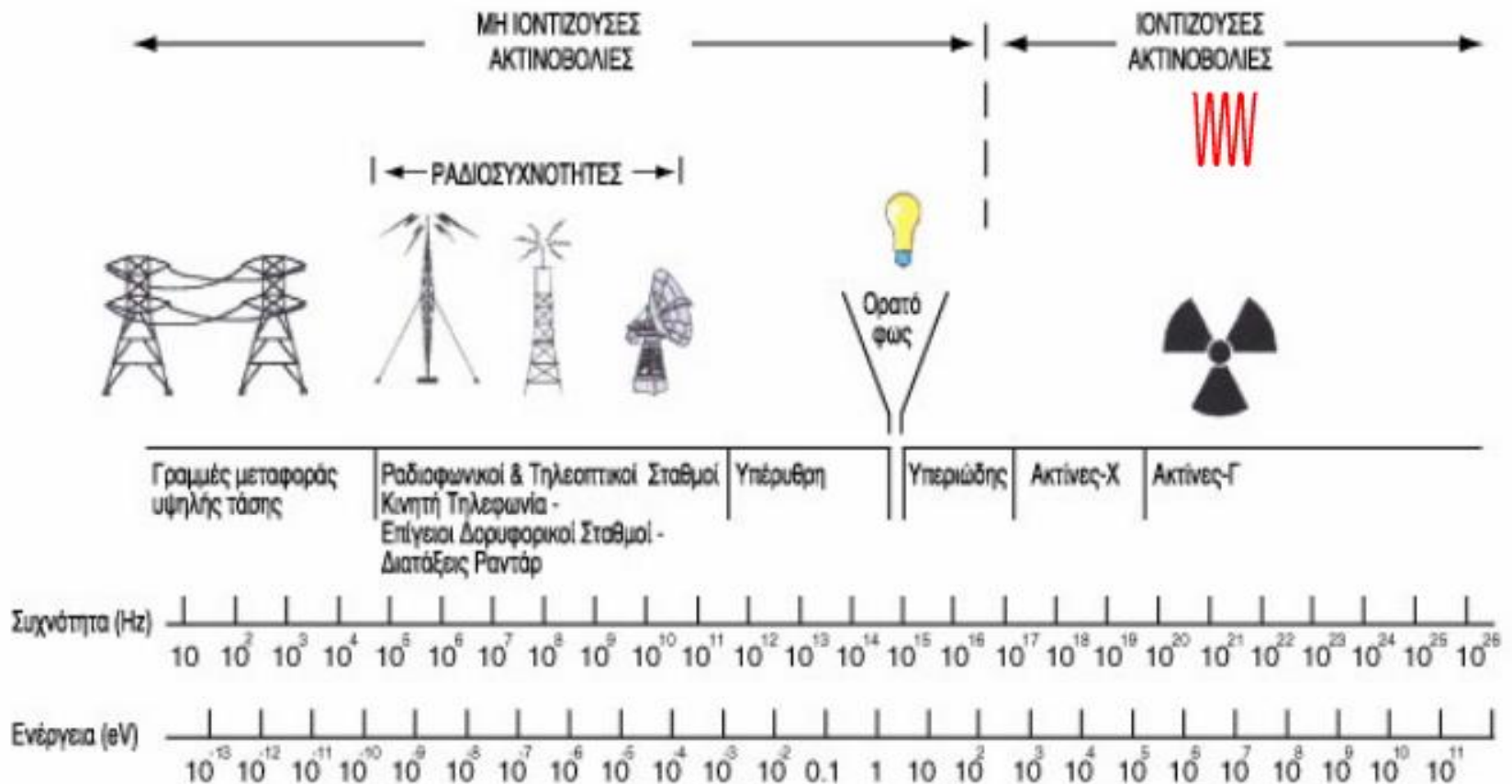
ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Είναι κάθε ακτινοβολία που μπορεί να προκαλέσει ιονισμό της ύλης (απελευθέρωση ηλεκτρονίου).
- Μπορεί να είναι είτε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια μεγαλύτερη από το έργο εξόδου (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο), όπως οι ακτίνες γ , X και οι υπεριώδεις.



ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

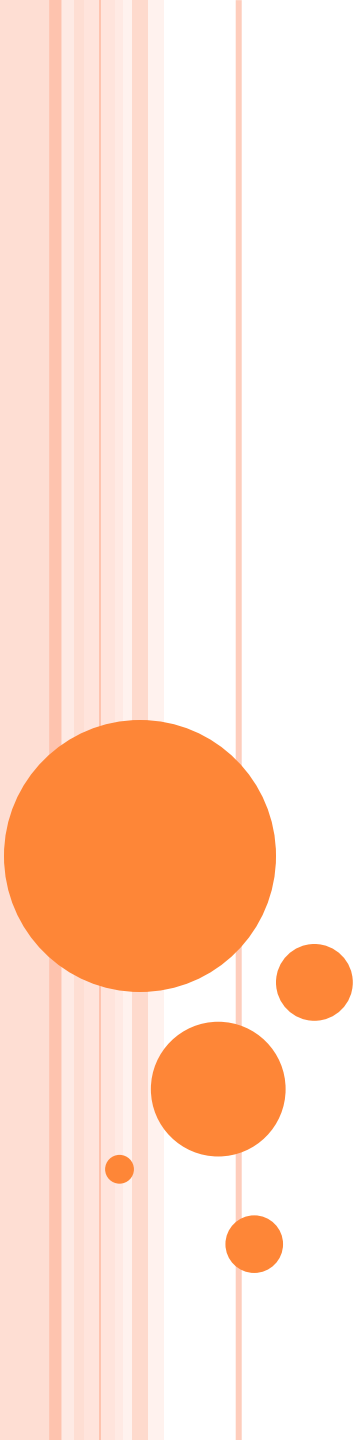
- Σχηματικά



ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Μπορεί επίσης να είναι σωματιδιακή ακτινοβολία με κατάλληλη ενέργεια (πρωτόνια/πυρήνες ηλίου, ηλεκτρόνια ποζιτρόνια, νετρόνια).





Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

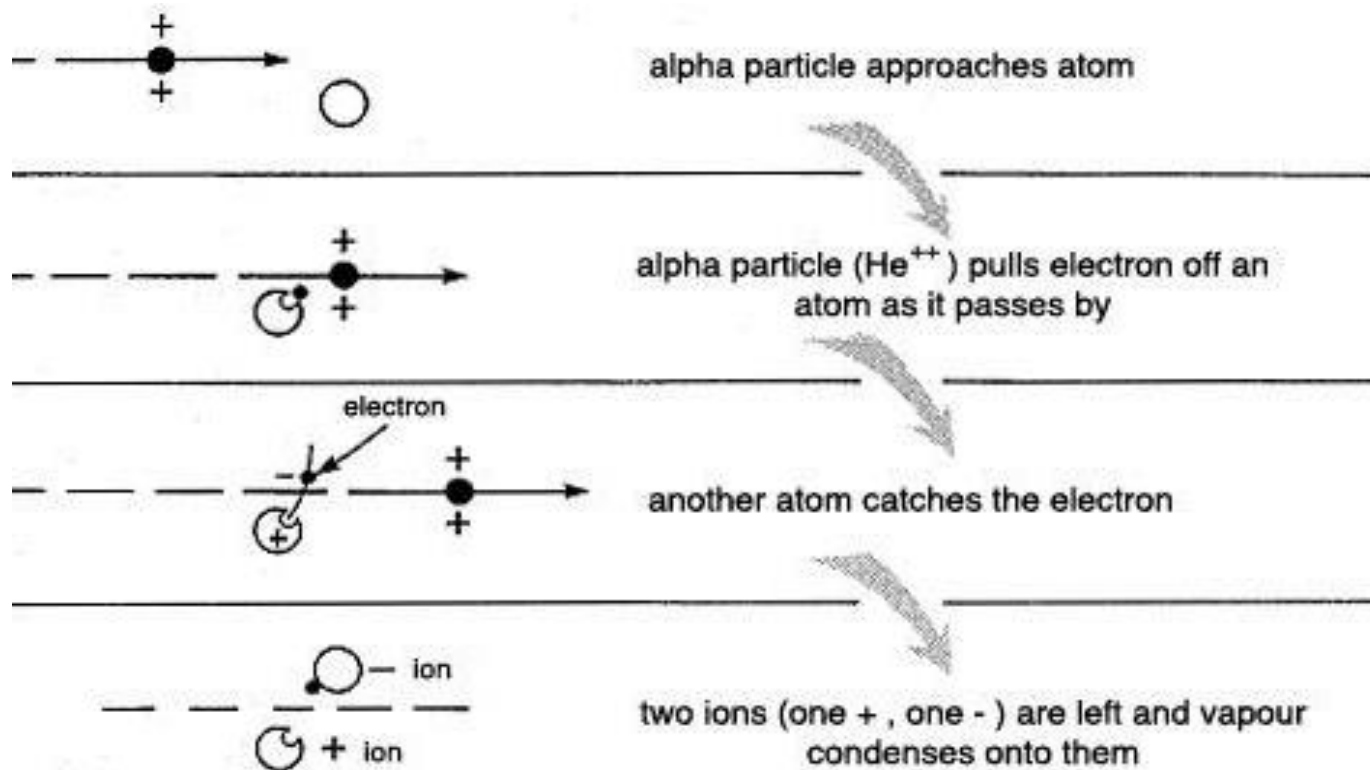
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΑΛΦΑ

- Υπενθυμίζεται ότι πρόκειται για πυρήνες ηλίου που έχουν θετικό φορτίο.
- Η πορεία του μέσα στην ύλη είναι συνήθως ευθύγραμμη εξαιτίας της μεγάλης μάζας του.
- Έχουν ενέργειες μεταξύ 3 και 8 MeV, ανάλογα με τον μητρικό και τον θυγατρικό πυρήνα.



ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΑΛΦΑ

- Σε αυτή του την πορεία προκαλεί διεγέρσεις είτε ιονισμούς (συνήθως σε ζεύγη) χάνοντας σταδιακά την ενέργειά του.



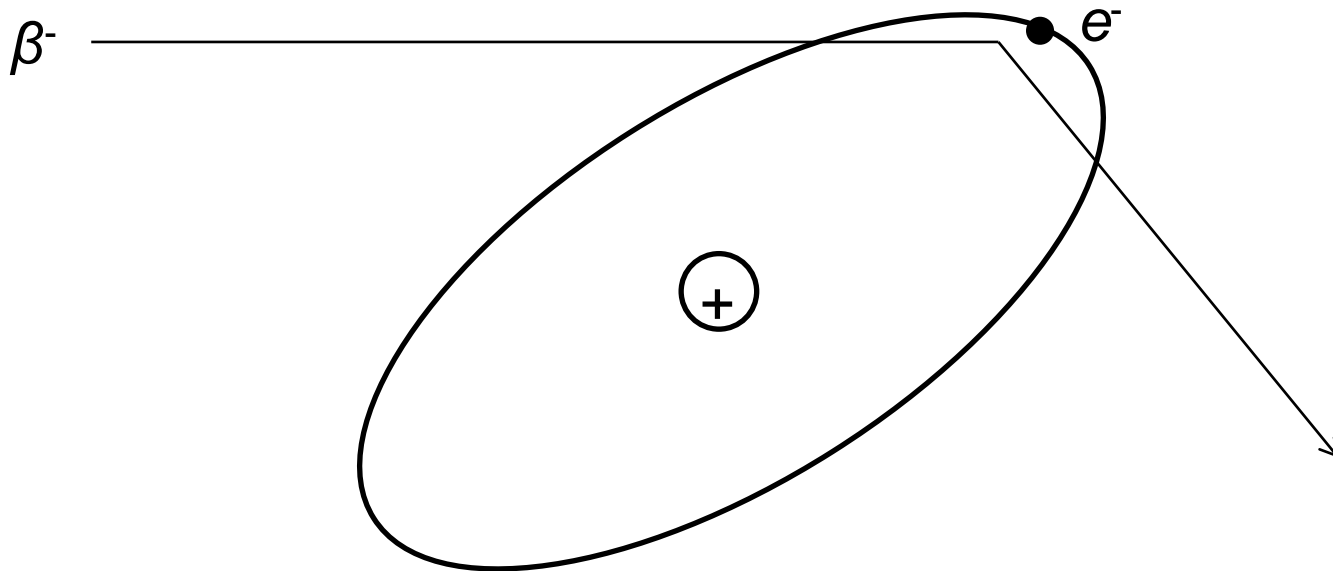
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΒΗΤΑ

- Υπενθυμίζεται ότι πρόκειται είτε για ηλεκτρόνια ($e^- = \beta^-$), είτε για ποζιτρόνια ($e^+ = \beta^+$).
- Η πορεία του μέσα στην ύλη δεν είναι ευθύγραμμη.
- Έχουν ενέργειες συνήθως μεταξύ 0,01 και 5 MeV.



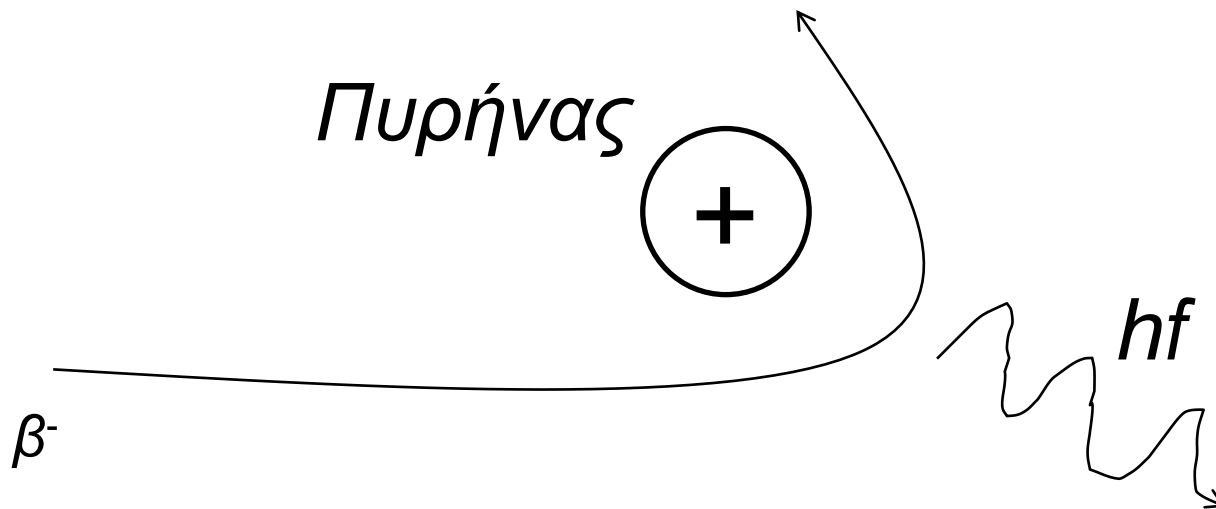
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΒΗΤΑ

- Μπορούν να προκαλέσουν διέγερση ή ιονισμό.



ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΒΗΤΑ

- Διερχόμενα κοντά από τον πυρήνα μπορούν να χάσουν ενέργεια με τη μορφή φωτονίου.



ΑΛΦΑ & ΒΗΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

- Καθώς οι ενέργειες των σωματιδίων α και β είναι της τάξης του $\text{MeV}=10^6 \text{ eV}$, ενώ η ενέργεια ιοντισμού μερικά eV , ένα τέτοιο σωματίο μπορεί να προκαλέσει χιλιάδες ιοντισμούς.



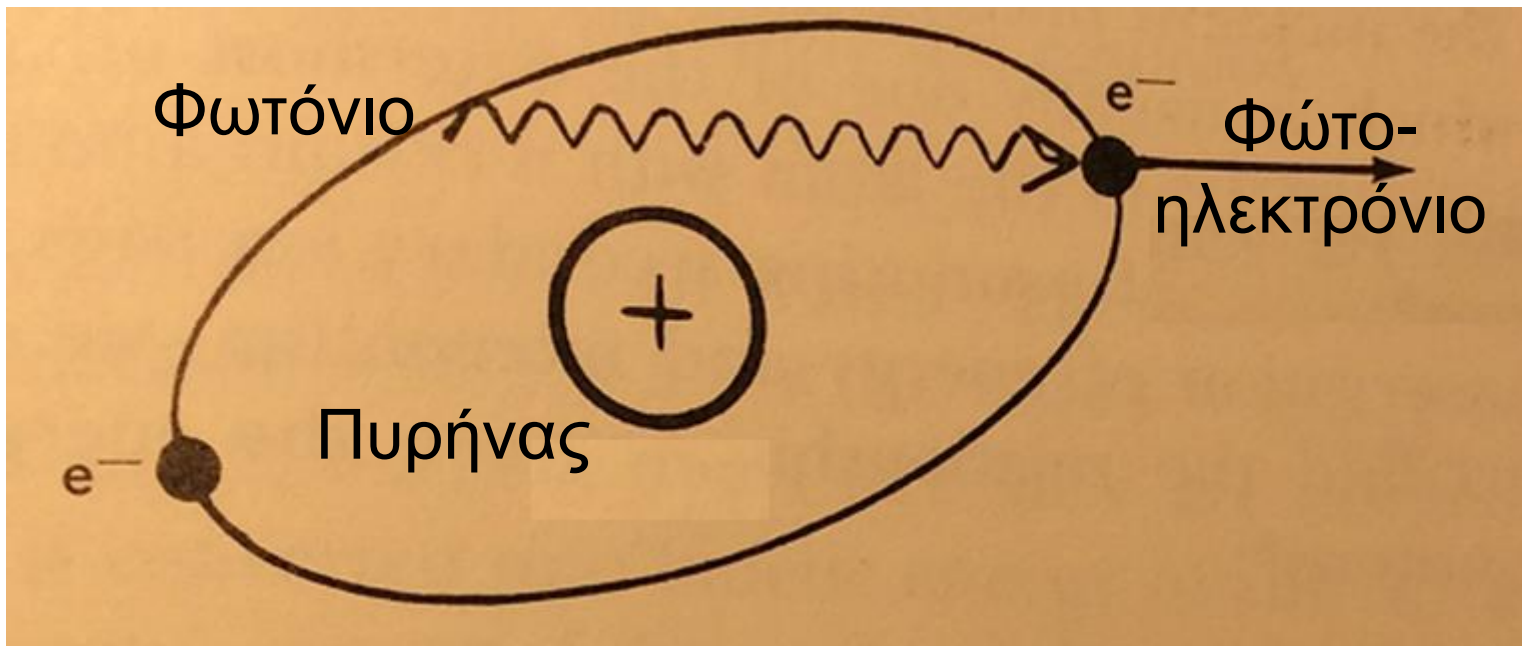
ΑΚΤΙΝΕΣ ΓΑΜΜΑ

- Πρόκειται για φωτόνια.
- Αλληλεπιδρούν με πολλούς τρόπους με την ύλη αλλά εδώ θα ασχοληθούμε μόνο με εκείνους τους τρόπους που έχουν βιολογική σημασία.



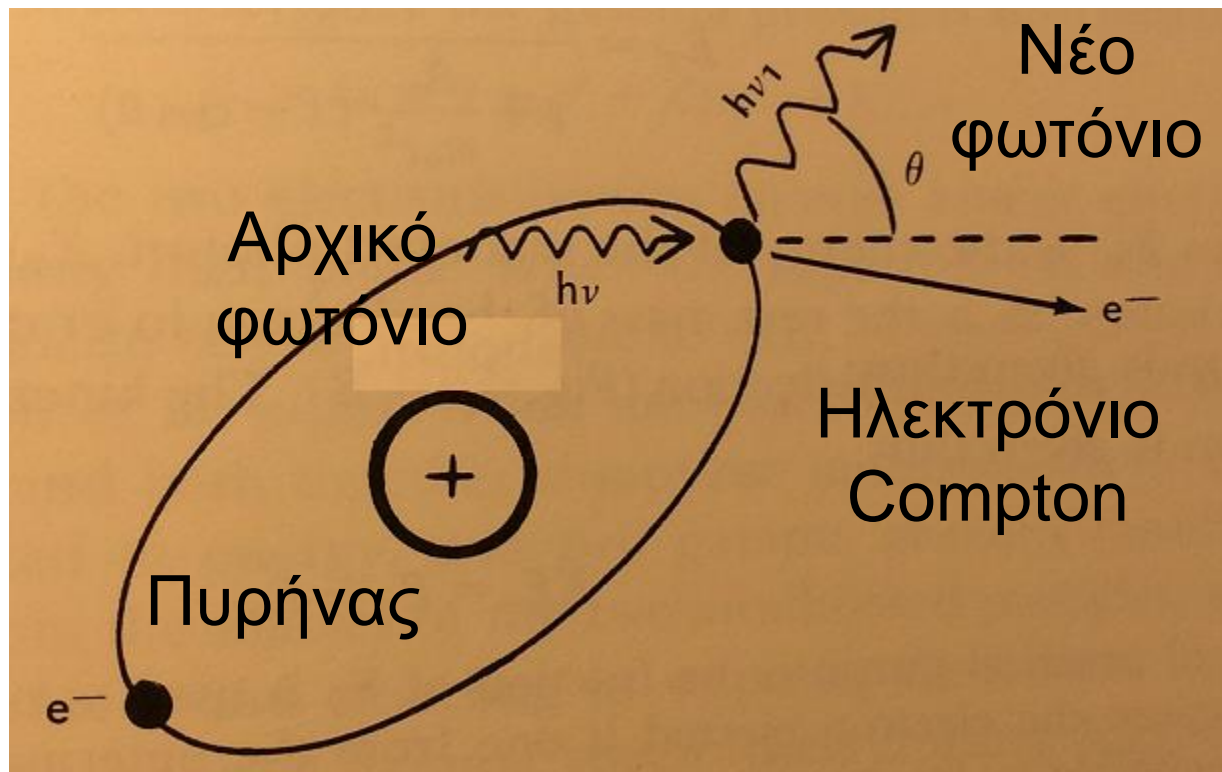
ΑΚΤΙΝΕΣ ΓΑΜΜΑ

- Μπορεί προφανώς να προκαλέσει ιονισμό (στην πραγματικότητα πρόκειται για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο της ατομικής φυσικής).



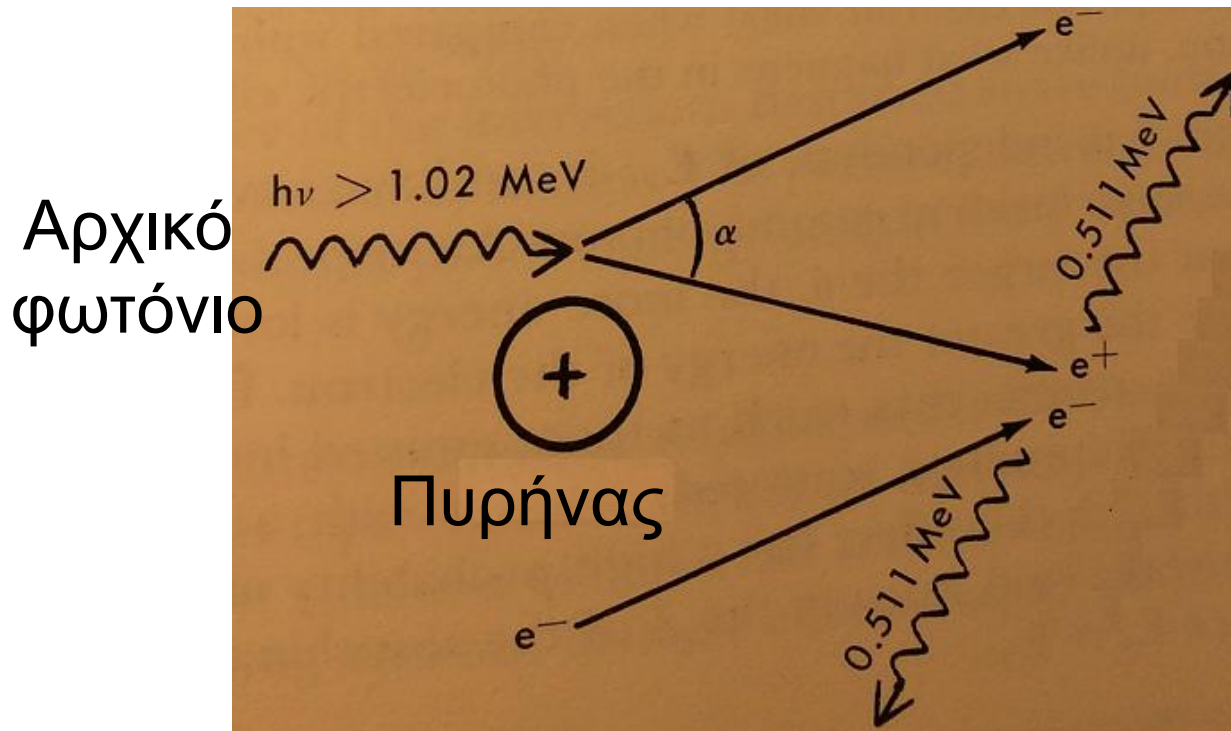
ΣΚΕΔΑΣΗ COMPTON

- Το φωτόνιο διώχνει ένα από τα εξωτερικά ηλεκτρόνια χάνοντας ένα τμήμα της ενέργειάς του.



ΔΙΔΥΜΗ ΓΕΝΕΣΗ

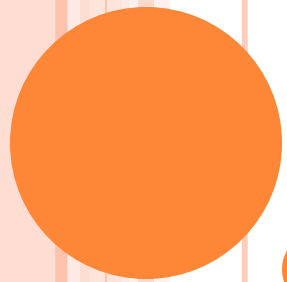
- Ένα φωτόνιο, υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να παράγει ένα ζεύγος ηλεκτρονίου, ποζιτρονίου.



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΎΛΗ

- Προφανώς, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται από τους τρεις προηγούμενες μηχανισμούς (φωτοηλεκτρικό, φαινόμενο Compton, δίδυμη γένεσης) μπορούν με τη σειρά τους να προκαλέσουν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά των φορτισμένων σωματιδίων.





ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

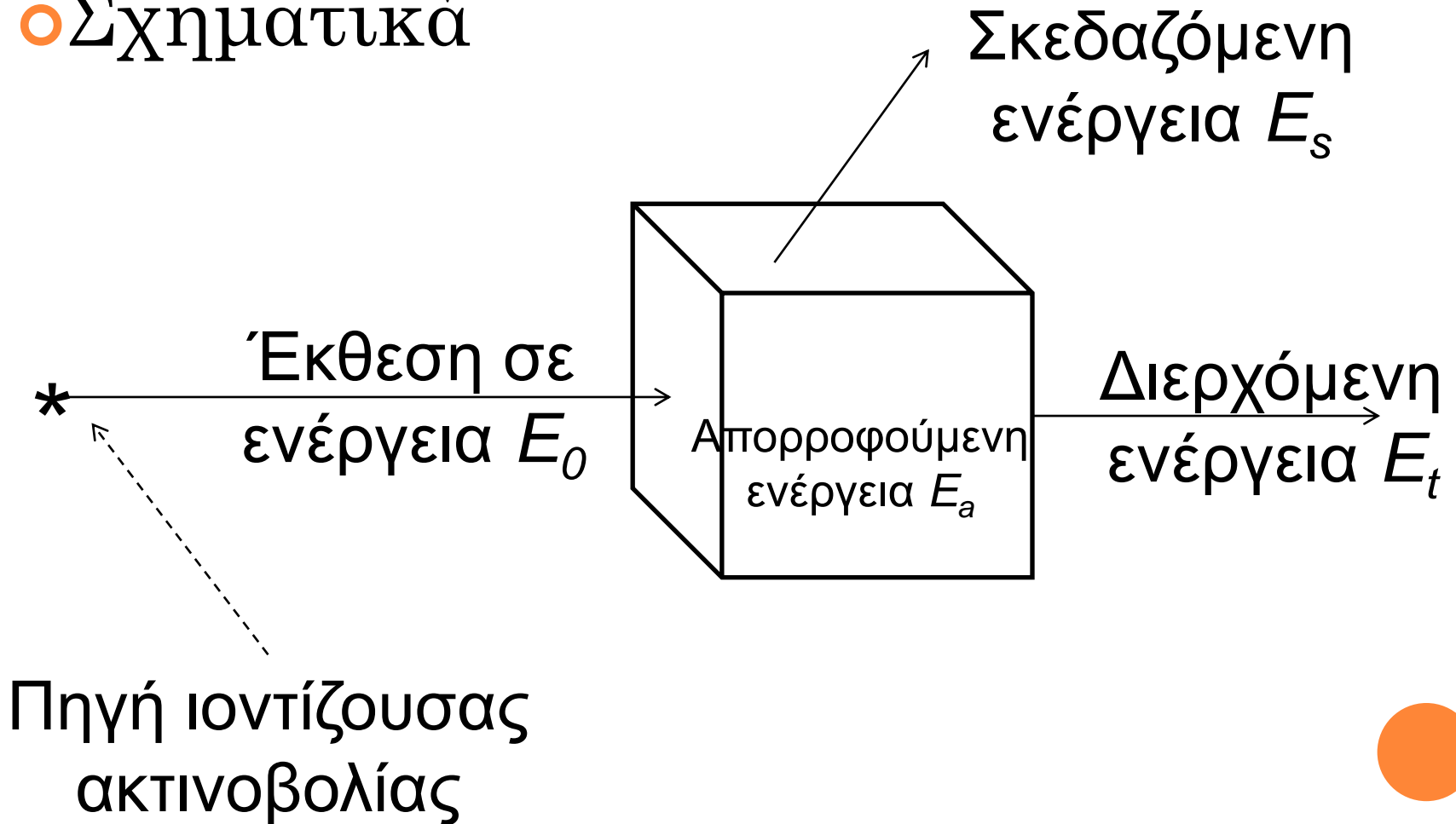
ΓΕΝΙΚΑ

- Έστω ότι διαθέτουμε μια πηγή ακτινοβολίας ιοντίζουσας ακτινοβολίας, και έστω ένα σώμα (για παράδειγμα ένας κύβος) που βρίσκεται μέσα στο πεδίο αυτής της ακτινοβολίας.



ΓΕΝΙΚΑ

○ Σχηματικά



ΓΕΝΙΚΑ

- Προφανώς από τη διατήρηση της ενέργειας ισχύει

$$E_0 = E_a + E_s + E_t$$

- Η βιολογική δράση της ακτινοβολίας εξαρτάται από την ενέργεια που απορροφάται.
- Ορίζουμε λοιπόν την απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας.




ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ

- Απορροφούμενη Δόση (D): Ορίζεται ως η ενέργεια (E) που αποθέτει η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά τη διέλευση της στη μονάδα μάζας (m) του υλικού, δηλ.:

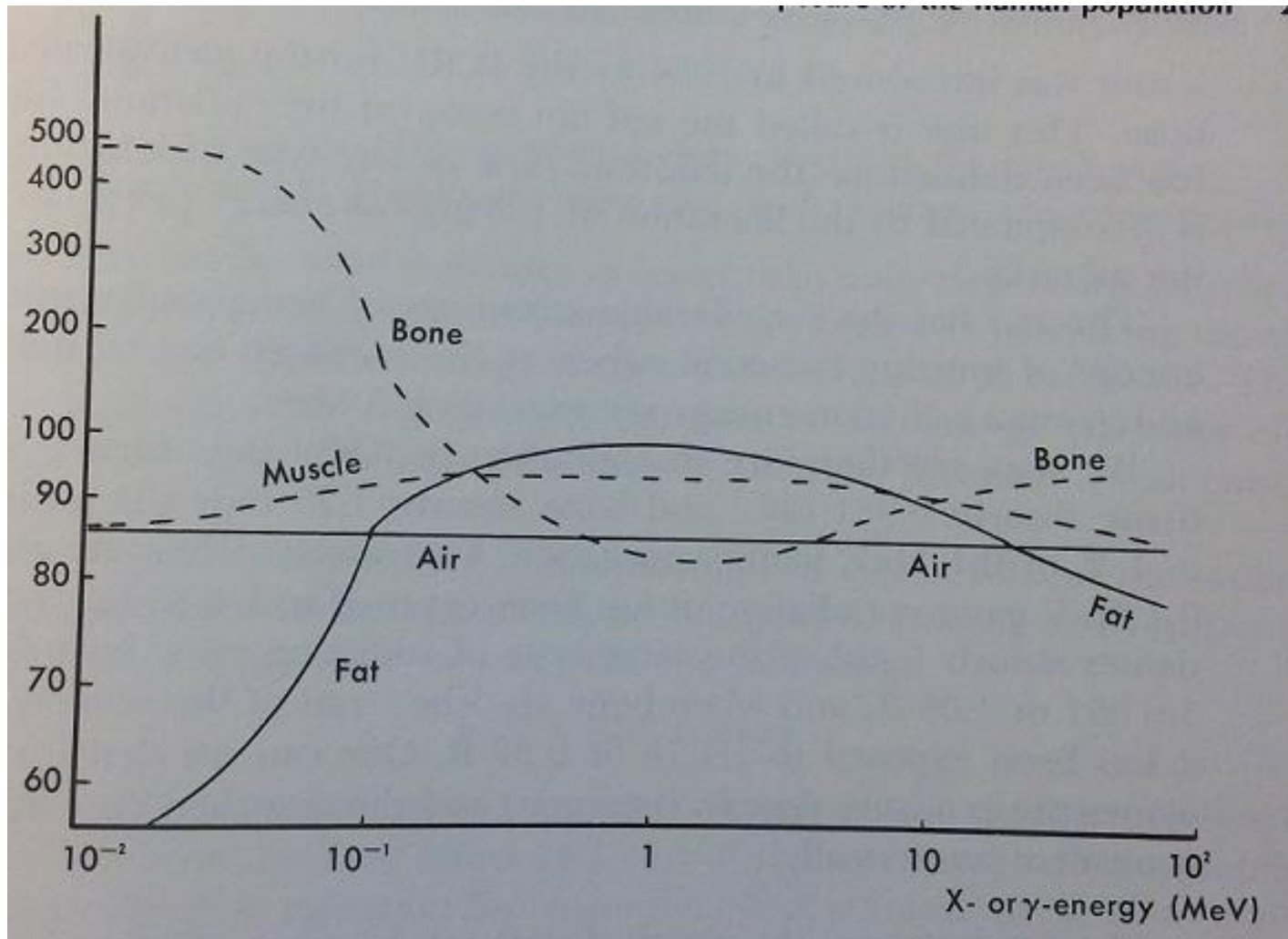
$$D = \frac{E}{m}$$



ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ

- Η απορροφούμενη δόση εξαρτάται από το υλικό αλλά και από το είδος και την ενέργεια της ιοντίζουσας ακτινοβολίας.
 - Ένα παράδειγμα της εξάρτησης αυτής φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα που δείχνει την ενέργεια που απορροφάται από κάθε γραμμάριο διαφορετικών υλικών, σε συνάρτηση με την ενέργεια.
- 

ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ



ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ

- *Μονάδες:* S.I. $1\text{ Gray (1 Gy)} = 1\text{ Joule/kg}$
- 1 rad (radiation absorbed dose) ορίζεται ως η ποσότητα ακτινοβολίας που αποθέτει 0,01 J ενέργειας ανά χιλιόγραμμο μάζας ιστού, δηλ. $1\text{ rad} = 0,01\text{ J/kg} = 0,01\text{ Gy}$.



ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ

- Η απορροφούμενη δόση αναφέρεται σε όλες τις ακτινοβολίες και αποτελεί μέτρηση της ολικής ενέργειας που απορροφά δεδομένο τεμάχιο ύλης ή οργανισμός.
- Δεν αποτελεί όμως από μόνη της μέτρο των βιολογικών επιπτώσεων, διότι τα βιολογικά αποτελέσματα δεν εξαρτώνται μόνο από τη δόση αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας.



ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

- Για παράδειγμα δεδομένη δόση ακτινοβολίας άλφα προκαλεί 10 φορές περισσότερες βιολογικές βλάβες από ίση δόση ακτίνων Χ.



ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ

- Ισοδύναμη Δόση (H): Ορίζεται ως το γινόμενο της απορροφούμενης δόσης (D) με έναν συντελεστή ποιότητας που ονομάζεται Σχετική Βιολογική Δραστηκότητα (RBE).

$$H = D \cdot (RBE)$$



ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

- Για τον συντελεστή RBE έχουμε, κατά προσέγγιση, τις εξής τιμές.

<i>Είδος ακτινοβολίας</i>	<i>RBE</i>
200 KeV ακτίνες X	1
γ	1
β	1
α	20
Νετρόνια (γρήγορα)	10
Πρωτόνια	10



ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ

- Μονάδες 1 Sievert (Sv) = (1 Gy) · (RBE).
- 1 rem = 0,01 Sv.





**ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
ΤΗΣ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

ΓΕΝΙΚΑ

- Η ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια, η οποία μπορεί να επιφέρει χημικές αλλαγές.
- Οι αλλαγές σε ένα μόριο/άτομο μπορεί να ΑΜΕΣΕΣ ή ΕΜΜΕΣΕΣ.




ΑΜΕΣΕΣ – ΕΜΜΕΣΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

- Άμεση είναι μια μεταβολή που προκαλείται όταν η ακτινοβολία επιδρά απευθείας στο υπό μελέτη χημικό σύστημα.
- Έμμεση είναι μια μεταβολή όταν το υπό μελέτη χημικό είδος λαμβάνει την ενέργεια όχι απευθείας από την ακτινοβολία, αλλά από κάποιο άλλο σωματίδιο που έχει απορροφήσει την ενέργεια της ακτινοβολίας.

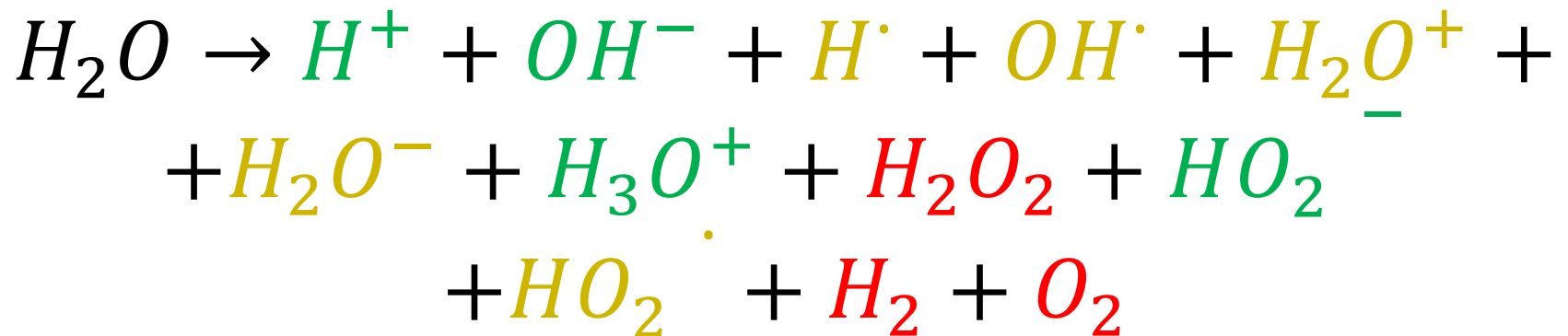


ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΜΜΕΣΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

- Σε ένα περιβάλλον όπως το κύτταρο, όπου κυριαρχεί το νερό, ενώ κάποια μόρια βρίσκονται σε μικρή συγκέντρωση, είναι προφανές ότι ο μηχανισμός της έμμεσης μεταβολής μπορεί να είναι σημαντικός.
- Αυτός είναι ένας από τους λόγους που οι πρώτες έρευνες στράφηκαν στην επίδραση της ακτινοβολίας το νερό. 

ΡΑΔΙΟΛΥΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

- Έχει διαπιστωθεί ότι η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή των ακόλουθων χημικών ειδών



ΡΑΔΙΟΛΥΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

○ Όλα αυτά τα προϊόντα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες

• ΜΟΡΙΑ: H_2O_2 , H_2 , O_2

• ΙΟΝΤΑ: H^+ , OH^- , H_3O^+ , HO_2^-

• ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΡΙΖΕΣ: H^\cdot , OH^\cdot ,
 H_2O^+

H_2O^\cdot , HO_2^\cdot



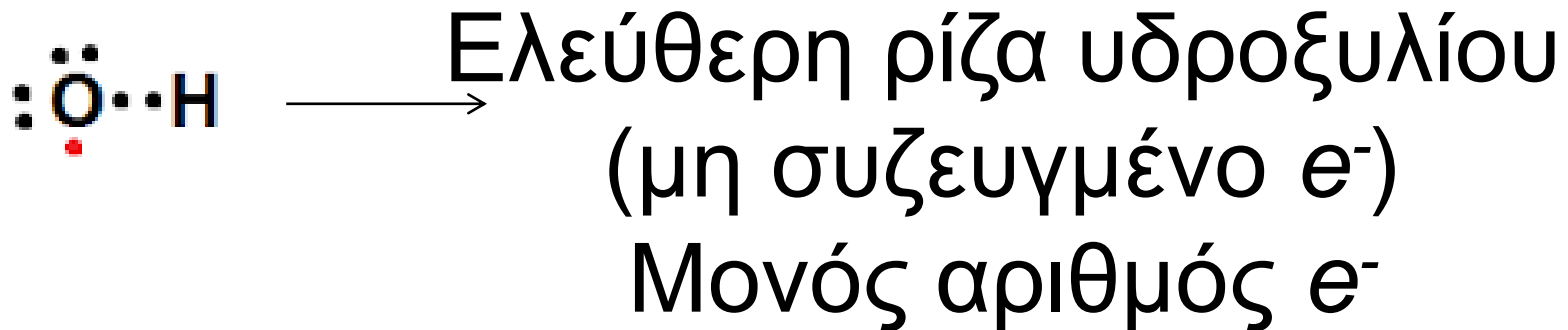
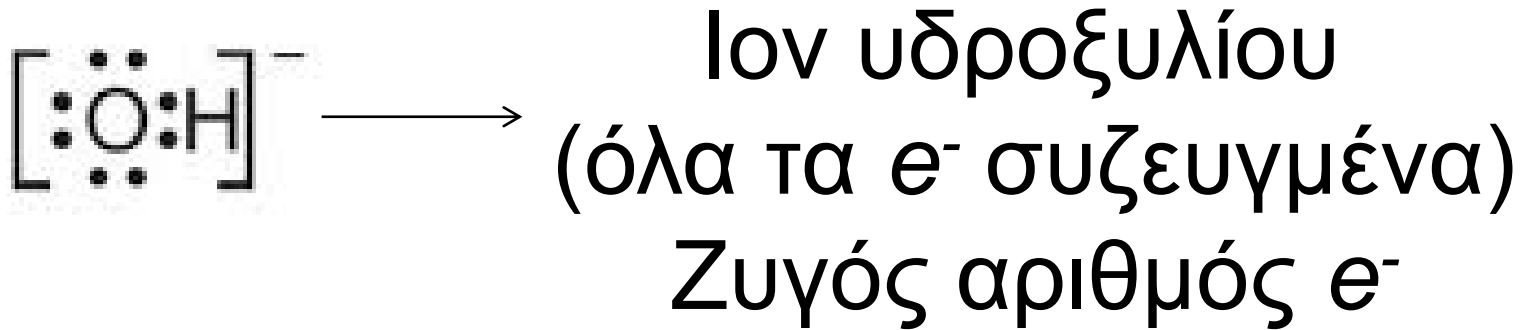
ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΡΙΖΕΣ

- Ελεύθερη ρίζα είναι ένα άτομο, μόριο ή συγκρότημα ατόμων που φέρει μη συζευγμένο ηλεκτρόνιο, έχουν δηλαδή περιττό πλήθος ηλεκτρονίων.
- Οι ελεύθερες ρίζες μπορεί να έχουν φορτίο ή να είναι ουδέτερες.
- Έχουν μεγάλη τάση να αντιδράσουν.



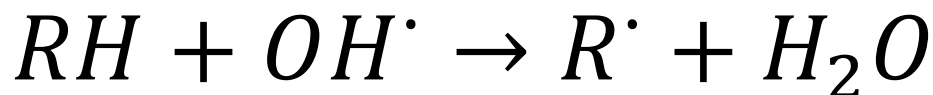
ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

- Για παράδειγμα



ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΡΙΖΕΣ

- Οι ελεύθερες ρίζες του υδρογόνου (H^\cdot) και του υδροξυλίου (OH^\cdot) μπορεί να αντιδράσουν με οργανικά μόρια.
- Για παράδειγμα η ελεύθερη ρίζα υδροξυλίου μπορεί να αντιδράσει με μεγάλη ποικιλία οργανικών ενώσεων παράγοντας πιο περίπλοκες ελεύθερες ρίζες



ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΡΙΖΕΣ

- Οι ρίζες αυτές μπορεί αν αντιδράσουν μεταξύ τους δίνοντας νέα χημικά είδη.
- Για παράδειγμα αυτό μπορεί να συμβεί με κάποιο μόριο πρωτεΐνης ή DNA.



ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

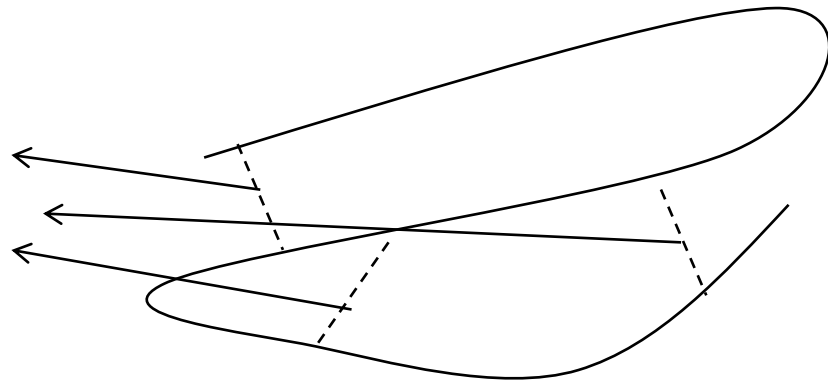
- Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να επιφέρει όμως και αλλαγές στη διαμόρφωση των μακρομορίων.
- Μια τέτοια μεταβολή είναι η διάσπαση μιας αλυσίδας (π.χ. της πολυπεπτιδικής αλυσίδας μιας πρωτεΐνης).



ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

- Μια άλλη μεταβολή στη διαμόρφωση είναι η διάλυση ένδο-μοριακών δεσμών και η διάλυση της τριτοταγούς δομής μιας πρωτεΐνης.

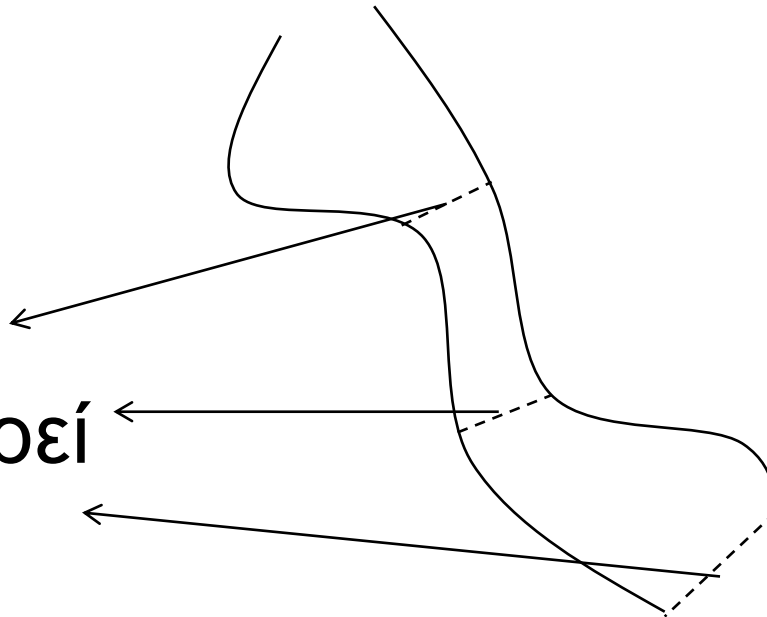
Ένδο-μοριακοί
δεσμοί που μπορεί
να σπάσουν



ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

- Μια ακόμα μεταβολή στη διαμόρφωση είναι η διάλυση διά-μοριακών δεσμών.

Διά-μοριακοί
δεσμοί που μπορεί
να σπάσουν






**ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΕ
ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ**

ΓΕΝΙΚΑ

- Ο άνθρωπος μπορεί να εκτεθεί με διάφορους τρόπους στην ιοντίζουσα ακτινοβολία.
- Ένας σημαντικός παράγοντας, που καθορίζει τις συνέπειες, είναι αν η έκθεση είναι *ολόσωμη* ή *τοπική*.



ΓΕΝΙΚΑ

- Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι αν η έκθεση είναι οξεία ή χρόνια.
 - Υπάρχουν επίσης οι εσωτερικές πηγές και οι εξωτερικές πηγές.
 - Ακόμα υπάρχει η έκθεση του γενικού πληθυσμού και η έκθεση των επαγγελματιών.
- 

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Πρόκειται για ραδιενεργούς πυρήνες που συνήθως μέσα από την τροφή ή το νερό εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό.
- Οι πυρήνες μπορεί να υπάρχουν από τη φύση, αλλά μπορεί να είναι και αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας (κυρίως πυρηνικών δοκιμών ή ατυχημάτων).



ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

- Παράδειγμα φυσικού ραδιενεργού ισotόπου είναι το ^{40}K που συγκεντρώνεται κυρίως στους μυς.
- Ένα άλλο ραδιενεργό ισotόπο που υπάρχει φυσιολογικά στο περιβάλλον είναι ο ^{14}C που εισέρχεται με τη CO_2 στα φυτά.

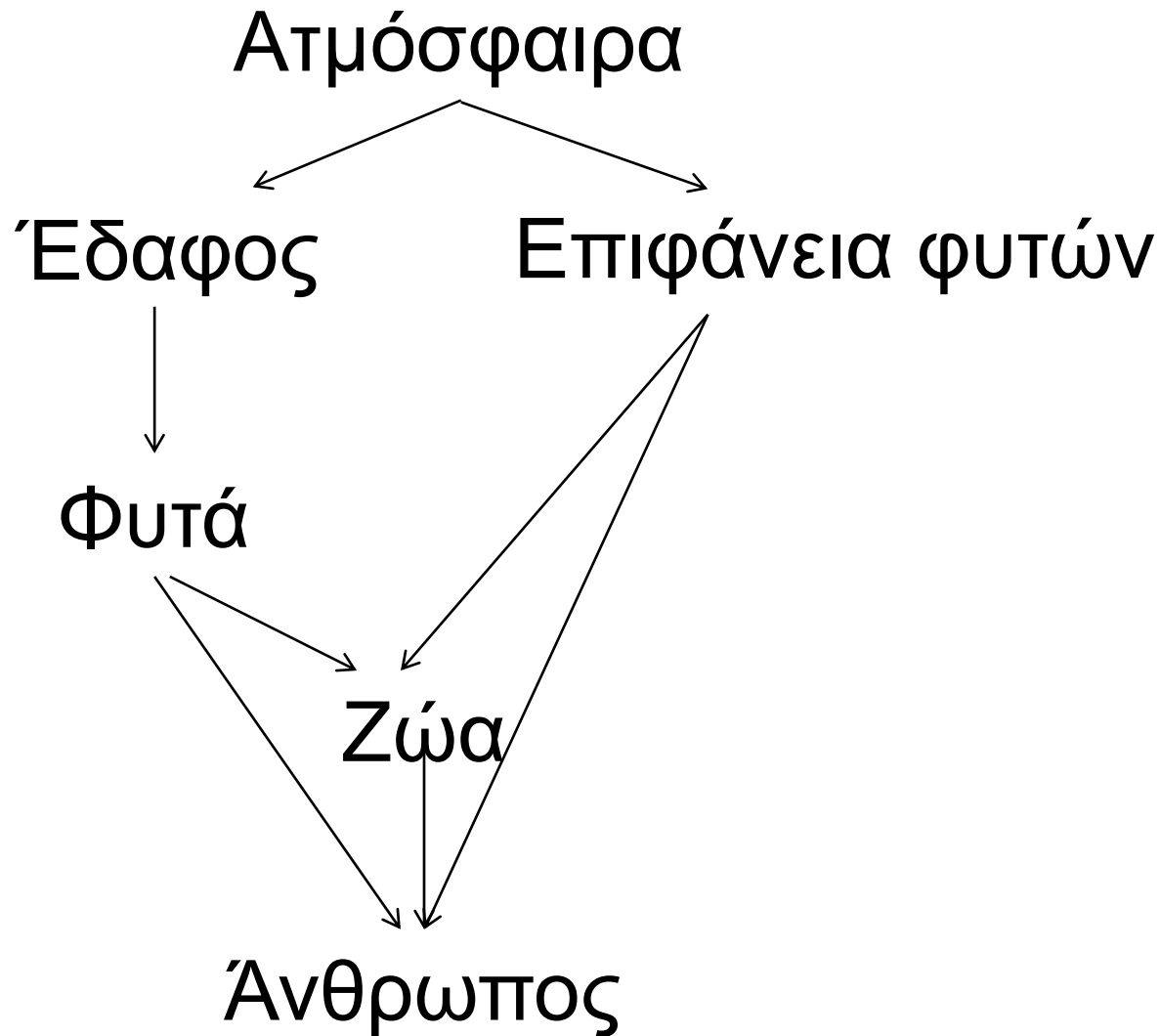


ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

- Τέτοιες είναι για παράδειγμα το ^{137}Cs και το ^{90}Sr .
- Όταν αυτά βρεθούν με κάποιο τρόπο στην ατμόσφαιρα, συνήθως μετά από κάποιο ατύχημα ή από πυρηνικές δοκιμές ακολουθούν την πορεία που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

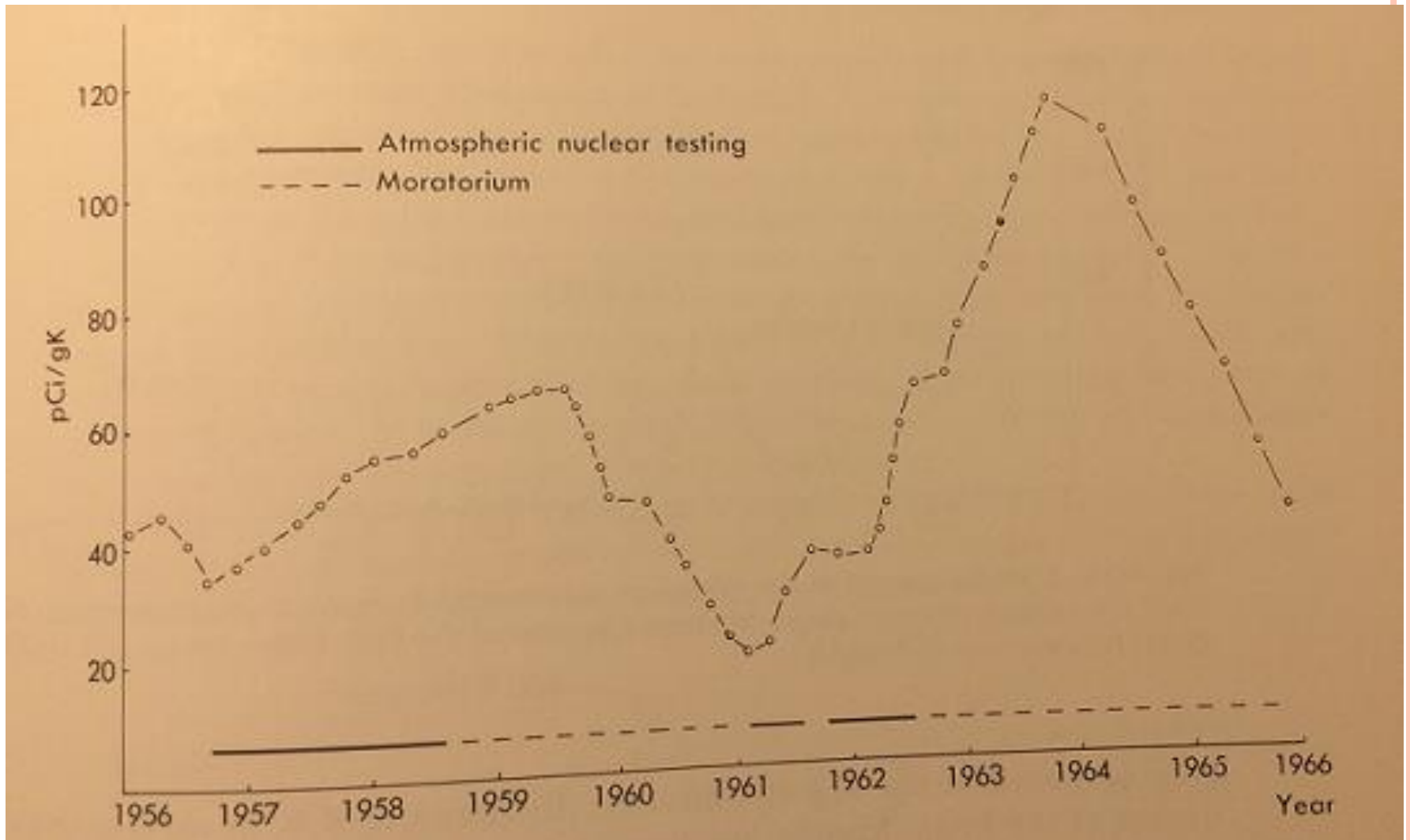


ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

- Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η αύξηση της παρουσίας Cs στον ανθρώπινο οργανισμό μετά από περιόδους έντονων πυρηνικών δοκιμών.



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ Cs



ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Από την κοσμική ακτινοβολία που ποικίλει ανάλογα με το υψόμετρο.
- Ραδιενεργά ορυκτά που βρίσκονται στα οικοδομικά υλικά.



ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Από το αέριο ραδόνιο που συσσωρεύεται στα σπίτια εισερχόμενο από το έδαφος.
- Ιατρικές εξετάσεις και θεραπείες.



ΕΙΣΟΔΟΙ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΑ ΟΙΚΗΜΑΤΑ



ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

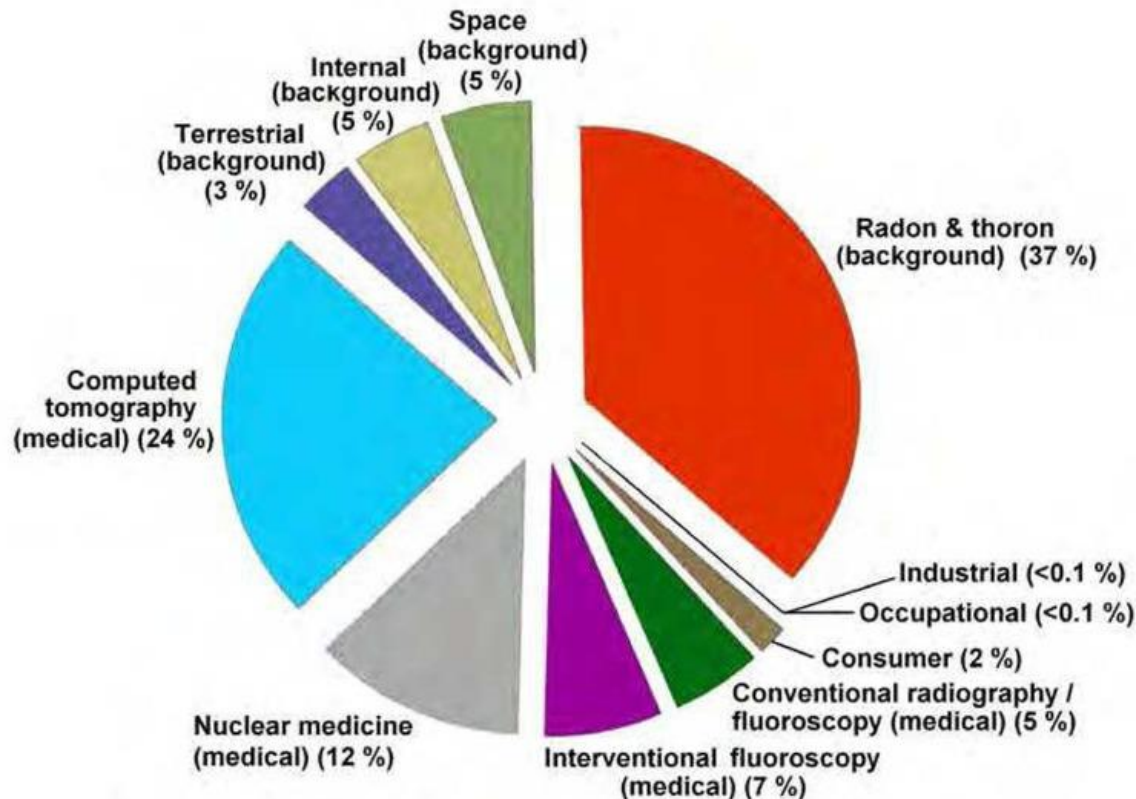
- Τυπικές ισοδύναμες δόσεις από διάφορων ειδών ακτινοβολίες.

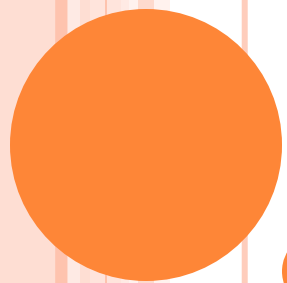
<i>Πηγή</i>	<i>Ετήσια Δόση (Sv)</i>
Κοσμικές ακτίνες	4×10^{-4}
Κοσμικές ακτίνες (σε αεροπλάνο σε μεγάλο υψόμετρο)	7×10^{-6} Sv/h
Ραδιενεργά μεταλλεύματα (εξωτερική έκθεση)	6×10^{-4}
Βρώσιμες ουσίες (κυρίως κάλιο)	2×10^{-4}
Εισπνοή ραδονίου	2×10^{-4}
Διαγνωστικές ακτινογραφίες	7×10^{-4}



ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Σχηματικά για το μέσο Αμερικάνο έχουμε





ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗ

- Στην Ιατρική για διάγνωση και θεραπεία.
- Διάγνωση: Ακτινογραφίες.
Ιχνηθέτες: ^{131}I για τη λειτουργία του θυρεοειδούς αδένος ^{32}P εντοπίζεται στα οστά, ^{59}Fe στην σπλήνα, ^{210}Pb στα νεφρά.



ΙΑΤΡΙΚΗ

- Θεραπεία Ακτινοβόληση καρκινικών όγκων: ακτινοβολία γ (^{60}Co) και X αλλά συχνά και πρωτόνια, ηλεκτρόνια ή άλλα φορτισμένα σωματίδια μετά από κατάλληλη επιτάχυνση τους.
- Εισαγωγή ραδιοϊσοτόπου μέσω της πεπτικής ή κυκλοφοριακής οδού, π.χ. εισαγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων ^{131}I για τη θεραπεία καρκινικών όγκων ή υπερθυρεοειδισμού.



ΙΑΤΡΙΚΗ

- Ορισμένα από τα ισότοπα που χρησιμοποιούνται στην Ιατρική.

Ραδιοϊσότοπο	Χρόνος ημιζωής	Ακτινοβολία	Εφαρμογές
Τεχνήτιο-99m	* 6 h	γ	Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο
Ιώδιο-123	13 h	γ	Απεικόνιση εγκεφάλου με σάρωση SPECT
Άνθρακας-11	20 min	e^+	PET
Ιώδιο-131	* 8,1 ημέρες	β, γ	Διαταραχές θυρεοειδούς
Φώσφορος-32	* 14 ημέρες	β	Ευρύ φάσμα χρήσεων στη Βιολογία και στην Ιατρική
Θάλλιο-201	74 h	γ	Απεικόνιση καρδιάς
Γάλλιο-67	78 h	γ	Απεικόνιση όγκων
Χρόμιο-51	* 28 ημέρες	γ	Επιβίωση των ερυθρών αιμοσφαιρίων

*Παράγονται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Διαφορετικά παράγονται σε επιταχυντές.

ΓΕΩΠΟΝΙΑ

- Χρησιμοποίηση ραδιοϊσοτόπων ως ιχνηθέτες.
- Αυτοραδιογραφία: λήψη ακτινογραφήματος στο οποίο αποτυπώνεται η κατανομή των ραδιοϊσοτόπων.
- Φωσφορούχο λίπασμα στο οποίο ο κοινός φώσφορος έχει αντικατασταθεί με ^{32}P .
Μελέτη της ταχύτητας και του τρόπου απόθεσης του φωσφόρου σε διάφορα σημεία του φυτού.



ΓΕΩΠΟΝΙΑ

- ^{14}C : Βρίσκεται σε πολύ μικρό ποσοστό στο διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και προσλαμβάνεται κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Είναι ραδιενεργό ισότοπο με χρόνο υποδιπλασιασμού 5760 χρόνια. Μελέτη των τμημάτων του φυτού που μετέχουν στη φωτοσύνθεση.
- ^{15}O ή ^{19}O : Υδατικό διάλυμα εμπλουτισμένο με αυτά τα ραδιοϊσότοπα εισάγεται στο ριζικό σύστημα του φυτού – χαρτογράφηση της πορείας του μεταβολισμού.

