

# 1

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ



# ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

## Συνοπτικά περιεχόμενα

---

- 1.1. Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή της Ακτινοπροστασίας
- 1.2. Φυσική και τεχνητή ραδιενέργεια, Ραδιοϊσότοπα
- 1.3. Φύση ακτινοβολιών (σωματιδιακή, ηλεκτρομαγνητική)
- 1.4. Ο άνθρωπος και το ραδιενεργό περιβάλλον
- 1.5. Ακτίνες Χ (παραγωγή - ιδιότητες, φάσματα)
- 1.6. Εφαρμογές των ακτινοβολιών

Περίληψη



## Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας θα πρέπει να είσαι σε θέση:

- Να γνωρίζεις τους επιστήμονες που ασχολήθηκαν με τις ακτινοβολίες
- Να αναφέρεις πότε έγιναν και που τα κυριότερα πυρηνικά ατυχήματα
- Να περιγράφεις την ατομική δομή
- Να εξηγείς τη φύση των ακτινοβολιών α,β,γ
- Να αναφέρεις τα στοιχεία μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Να περιγράφεις την κοσμική ακτινοβολία
- Να αναφέρεις τις τεχνητές πηγές ακτινοβολίας
- Να περιγράφεις τη μόλυνση του περιβάλλοντος από ραδιενεργά υλικά
- Να εξηγείς τη φύση των Ακτίνων X και την ομώνυμη λυχνία
- Να σχεδιάζεις το φάσμα των Ακτίνων X
- Να αναφέρεις τις εφαρμογές των ακτινοβολιών γενικότερα.

## Ορολογία

eV	Ραδιενεργό στοιχείο
Ακτίνες α, β, γ	Ραδιενεργός οικογένεια
Ακτίνες X	Ραδιοϊσότοπο
Ατομικός Αριθμός	Ραδόνιο
Διέγερση	Στιβάδες ατόμου
Ιονισμός	Συχνότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
Κοσμική ακτινοβολία	Τεχνητή Ραδιενέργεια
Λυχνία ακτίνων X	Φάσμα ακτίνων X
Μαζικός Αριθμός	Φυσική Απομείωση
Μήκος κύματος	Φυσική Ραδιενέργεια
Νετρίνο	Χρόνος υποδιπλασιασμού
Πυρήνας ατόμου	

## 1.1. Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή της Ακτινοπροστασίας

Το Νοέμβριο του 1896 ο Γάλλος Φυσικός H.Becquerel ανακάλυψε τυχαία ότι υπάρχουν υλικά στη φύση ονομαζόμενα ραδιενεργά που έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν ακτινοβολία (π.χ. Ουράνιο). Ο Becquerel τοποθετώντας καθημερινά κάτω από μία πέτρα το τότε υπερμεγέθες σιδερένιο κλειδί του σπιτιού του διαπίστωσε ότι το ίχνος του κλειδιού αποτυπωνόταν στο πέτρωμα που ακουμπούσε. Σχεδόν ταυτόχρονα η διάσημη Γαλλίδα - Πολωνικής καταγωγής - Marie Curie ανακάλυψε τα στοιχεία Θόριο και Ράδιο και γι'αυτό τιμήθηκε με το βραβείο Nobel της Φυσικής (1903) και Χημείας (1911). Η Curie παντρεύτηκε το Γάλλο Φυσικό Pierre Curie, γνωστό για τις μελέτες του σε πολλούς τομείς της Φυσικής.

Το έτος 1896 ήταν ιδιαίτερα σημαδιακό, αφού προστέθηκε η ανακάλυψη των αγνώστων τότε ακτίνων που ονομάστηκαν X, από το Γερμανό Φυσικό Wilhelm Conrad Roentgen (βραβείο Nobel 1901). Οι ακτίνες X προέρχονταν από μια λυχνία που κατασκεύασε ο ίδιος και για τις συγκεκριμένες ακτίνες θα υπάρχει ιδιαίτερη αναφορά παρακάτω. Πειραματικά ο Αμερικάνος Ερευνητής E.Grubbe πιστοποιεί την ύπαρξη των ακτίνων X. Ήταν η πρώτη παραγωγή ακτίνων από μη ραδιενεργά υλικά. Ο Grubbe παρατήρησε στο αριστερό του χέρι, το οποίο συνήθιζε να εκθέτει στις ακτίνες X, ένα έντονο *ερύθρημα* που εξελίχθηκε σε *οίδημα* κι αργότερα σε σοβαρή *εξέλκωση*. Αποθεραπεύτηκε μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά παρέμεινε ένα εκτεταμένο τραύμα. Διαπιστώνοντας ο Grubbe την καταστροφική δράση των ακτίνων στους ιστούς είχε την εκπληκτική για την εποχή εκείνη ιδέα ν' ακτινοβολήσει ένα καρκίνο του μαστού προφυλάσσοντας όμως το υπόλοιπο σώμα με φύλλα μολύβδου (Pb). Μ'αυτή την ενέργεια ο Grubbe θεωρείται ο πρώτος διδάξας της θεραπείας με ακτίνες X αλλά και της ακτινοπροστασίας. Σήμερα η εφαρμογή των ακτίνων X για θεραπευτικούς σκοπούς αποτελεί σημαντικό κομμάτι της Ακτινοθεραπείας. Η Marie Curie το 1898 διαπίστωσε ότι οι ακτινοβολίες του Ραδίου δημιουργούσαν καψίματα στο δέρμα ανάλογα με αυτά των ακτίνων X, μιας και δε λαμβανόταν κανένα μέτρο προστασίας.

Τα πρώτα αυτά ατυχήματα καθώς και τα πειράματα που έγιναν σε ζώντες οργανισμούς κατέδειξαν ότι οι ακτινοβολίες είναι επικίνδυνες κι επομένως ασχολούμενοι μ' αυτές κινδύνευαν σοβαρά. Οι πιο πάνω αναφερθέντες επιστήμονες αλλά και ο Αμερικάνος WH Rollins, αφού επεσήμαναν τα πιο βλαπτικά αποτελέσματα των ακτινοβολιών, συνέβαλαν στην δημιουργία της πρώτης ομάδας εργασίας (1916) στη Μεγάλη Βρετανία που ασχολήθηκε με την προστασία έναντι των ακτίνων X και του Ραδίου. Ήταν η πρώτη επίσημη Επιτροπή Ακτινοπροστασίας.

Όσοι ασχολήθηκαν στα επόμενα χρόνια με ραδιενεργά υλικά, χρειάστηκε ν' αλλάξουν τις τεχνικές, ώστε ν' αποφύγουν τις δυσάρεστες συνέπειες της ακτινοβολίας. Οι πρόοδοι ωστόσο στον τομέα της ακτινοπροστασίας ήταν βραδείες και γι' αυτό δεν έλειψαν τα θύματα.

Στα 1916 ο Άγγλος Ακτινολόγος Russ παρουσίασε την πρώτη εργασία σε θέματα ακτινοπροστασίας, υπογραμμίζοντας τους κινδύνους και προτείνοντας σειρά μέτρων. Οι Άγγλοι ιδρύουν (1921) πρώτοι την Αγγλική Εταιρεία Ακτινολογίας (British Roentgen Society) και τυπώνουν ένα σημαντικό πόνημα για τους αποτελεσματικούς τρόπους ακτινοπροστασίας. Δυστυχώς ελάχιστοι έλαβαν υπόψη τους τις υποδείξεις αυτές κι έτσι τα ατυχήματα από υπερβολικές εκθέσεις στην ακτινοβολία δεν περιορίστηκαν. Υπολογίζεται ότι από το 1900-1920 πάνω από 100 γιατροί Ακτινολόγοι έχασαν τη ζωή τους από την υπερβολική έκθεση στην ακτινοβολία. Ο αριθμός αυτός είναι 10 φορές μεγαλύτερος από τα θανατηφόρα ατυχήματα μεταξύ των ετών 1942-1967 στα πυρηνικά εργοστάσια. Όμως από το 1928 η ακτινοπροστασία ακολουθεί την ανοδική της πορεία.

Το 1934 το ζεύγος Jean Frederic Joliot και η Irene Curie - κόρη της Marie Curie - ανακάλυψαν την τεχνητή ραδιενέργεια και γι' αυτό πήραν επάξια βραβείο Nobel στη Χημεία (1935). Μετά από οκτώ χρόνια (1942), ο διεθνούς φήμης Ιταλός επιστήμονας Φυσικός Errico Fermi (βραβείο Nobel 1938), κατασκεύασε στις ΗΠΑ τον πρώτο πυρηνικό αντιδραστήρα και μαζί με τον εξίσου διάσημο συνάδελφό του τον Αμερικάνο A.Compton (βραβείο Nobel 1927), δημιούργησαν την πρώτη ομάδα Ακτινοπροστασίας. Οι ομάδες αυτού του είδους ενισχύθηκαν με επιστημονικό δυναμικό και πολλαπλασιάστηκαν σε όλα τα προηγμένα κράτη με στόχο την επίλυση θεμάτων ακτινοπροστασίας, ώστε οι ερευνητές να εργάζονται μέσα σε συνθήκες ασφάλειας. Σ' αυτό συνέτεινε η ενημέρωση των εργαζομένων, η έρευνα κι η εκπαίδευσή τους ώστε να χρησιμοποιούνται οι ακτινοβολίες μόνο επ'ωφελεία. Στις ομάδες ακτινοπροστασίας προστέθηκαν κι άλλοι επιστήμονες, χημικοί, γεωλόγοι, μετεωρολόγοι, βιολόγοι, μηχανικοί, μαθηματικοί που εργάζονται για τον κοινό σκοπό, δηλαδή την ασφαλή χρήση των ακτινοβολιών.

Οι πυρηνικές βόμβες στη Χιροσίμα και το Ναγκασάκι της Ιαπωνίας με τις καταστροφικές δυνάμεις των ακτινοβολιών προκάλεσαν σ' όλον τον κόσμο δέος. Έτσι επικράτησε μια ακτινοφοβία που δημιούργησε αρνητικό κλίμα στην εξέλιξη της χρήσης των ακτινοβολιών. Πολλοί εργαζόμενοι σε εργαστήρια ακτινοβολιών ζήτησαν τη βοήθεια των ψυχιάτρων, επειδή παρουσίασαν έντονα συμπτώματα νευρώσεων. Μέχρι σήμερα έχουν συμβεί

τέσσερα μεγάλα πυρηνικά ατυχήματα που προξένησαν ραδιενεργό μόλυνση του περιβάλλοντος και προκλήθηκαν από:

- α.** Τη θερμοπυρηνική δοκιμή (1954) στον Ειρηνικό Ωκεανό στη τοποθεσία Atoll de Bikini,
- β.** Την έκρηξη στον πυρηνικό αντιδραστήρα στη Μεγάλη Βρετανία στη θέση Windscale (1957),
- γ.** Την βλάβη του αντιδραστήρα κοντά στην πόλη Harrisbury στην Πενσυλβανία των ΗΠΑ (1970),
- δ.** Την έκρηξη του υπ' αριθμόν τέσσερα αντιδραστήρα (1986) στη θέση Chernobyl της σημερινής Ουκρανίας την περίοδο κατά την οποία η πόλη ανήκε στην Σοβιετική Ένωση.

Μοναδικός τρόπος εφυσυχασμού των εργαζομένων και του κοινού είναι η αποτελεσματική προστασία. Σήμερα, με τους Κανονισμούς Ακτινοπροστασίας που έχουν θεσπισθεί και φυσικά με την πιστή τήρησή τους, εκμηδενίζονται πρακτικώς οι κίνδυνοι.

## 1.2. Φυσική και Τεχνητή Ραδιενέργεια, Ραδιοϊσότοπα

Πριν αναπτυχθεί αυτό το κεφάλαιο κρίνεται σκόπιμη η αναφορά και η μικρή ανάπτυξη της Δομής του Ατόμου.

### 1.2.1. Δομή του Ατόμου

Η ύλη αποτελείται από μικρές ποσότητες που ονομάστηκαν Άτομα ή Στοιχεία και δεν είναι δυνατόν να τμηθούν περαιτέρω με χημικές μεθόδους. Πολλά Άτομα συνενοόμενα αποτελούν τα Μόρια. Σήμερα είναι γνωστά 108 στοιχεία, από τα οποία τα 92 βρίσκονται στη φύση και τα υπόλοιπα 16 έχουν κατασκευαστεί με τη βοήθεια της τεχνολογίας.

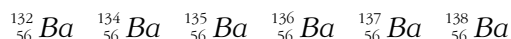
Η Δομή του Ατόμου είναι μια μικρογραφία πλανητικού συστήματος, η οποία για λόγους διδακτικούς απεικονίζεται ως εξής. Υπάρχει ένας πυρήνας στον οποίο συμπυκνώνεται κυρίως η μάζα του ατόμου και γύρω απ' αυτόν περιστρέφονται ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) σε τροχιές ή στιβάδες. Η πρώτη κοντά στον πυρήνα τροχιά ονομάζεται K οι επόμενες L, M, N κ.ο.κ. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων σε κάθε τροχιά καθορίζεται από τη σχέση  $2n^2$ , όπου λαμβάνεται  $n=1$  για την K,  $n=2$  για την L κ.ο.κ. Άρα η K θα έχει  $2e^-$ , η L 8, η M 18 κ.λπ. Στον πυρήνα περιέχονται μικρά σωματίδια τα Πρωτόνια  $1p$  και τα Νετρόνια  $1n$  (μόνο στο άτομο του Υδρογόνου δεν υπάρχει νετρόνιο).



**Σχ. 1.1. Δομή του ατόμου**

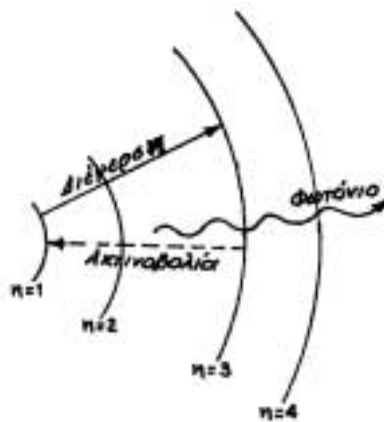
Τα πρωτόνια είναι θετικώς φορτισμένα και τα νετρόνια χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, δηλαδή ουδέτερα. Τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται στις στιβάδες έχουν αρνητικό φορτίο. Για να συμπεριφέρεται το άτομο ηλεκτρικά ουδέτερο, πρέπει ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα να είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα. Το άθροισμα πρωτονίων και νετρονίων κάθε ατόμου ονομάζεται Μαζικός Αριθμός (A) του στοιχείου και γράφεται στο άνω αριστερό άκρο του συμβόλου του. Ο αριθμός των πρωτονίων ονομάζεται Ατομικός Αριθμός Z του στοιχείου και γράφεται στο κάτω αριστερό του συμβόλου. Για παράδειγμα το στοιχείο του Ψευδαργύρου με σύμβολο Zn έχει Ατομικό Αριθμό 30 και Μαζικό Αριθμό 65, οπότε θα γραφεί  ${}^{65}_{30}\text{Zn}$ . Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα το στοιχείο αυτό έχει 30 πρωτόνια και 30 ηλεκτρόνια. Ο αριθμός των νετρονίων του πυρήνα θα είναι η διαφορά M-Z, αριθμός νετρονίων 35 δηλαδή (65-30).

Υπάρχουν στοιχεία με τον ίδιο Ατομικό Αριθμό αλλά διαφορετικό Μαζικό κι ονομάζονται Ισότοπα. Τα Ισότοπα έχουν τις αυτές χημικές ιδιότητες. Μερικά στοιχεία έχουν πολλά Ισότοπα όπως το Βάριο



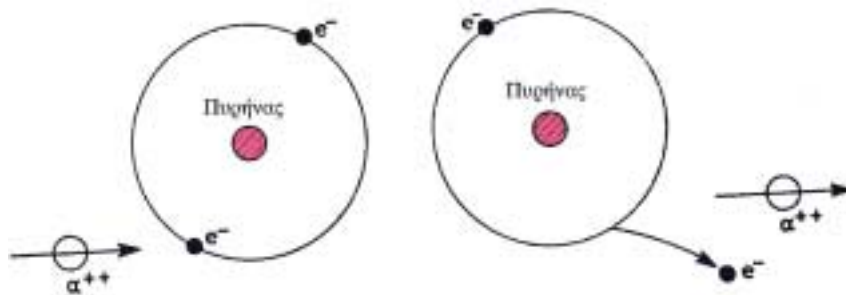
### 1.2.2. Διέγερση και ιονισμός του ατόμου

Όπως αναφέρθηκε σε κάθε τροχιά ενός ατόμου κινούνται ηλεκτρόνια ενεργείας σαφώς καθορισμένης. Σύμφωνα με τη συνθήκη του Δανού Φυσικού Niels Bohr (βραβείο Nobel 1922) η κίνηση των ηλεκτρονίων δε συνοδεύεται από εκπομπή ακτινοβολίας. Ακτινοβολία εκπέμπεται μόνον όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδά από τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας σε τροχιά μικρότερης ενέργειας. Αν τώρα από οποιοδήποτε εξωτερικό αίτιο - ταχέως κινούμενα σωμάτια, ακτινοβολία X ή γ - το άτομο προσλάβει ενέργεια, το ηλεκτρόνιο παύει να κινείται στην αρχική του τροχιά και καταλαμβάνει μια θέση σε άλλη τροχιά επί της οποίας και περιφέρεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *διέγερση του ατόμου*.



Σχ.1.2. Διέγερση του ατόμου.

Η θέση του ηλεκτρονίου στη νέα ενεργειακή στάθμη είναι προσωρινή, διότι το ηλεκτρόνιο ακαριαία επανέρχεται στην αρχική του θέση με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας. Στην περίπτωση κατά την οποία η προσφερόμενη ενέργεια είναι πολύ μεγάλη, είναι δυνατόν το ηλεκτρόνιο ν' απομακρυνθεί οριστικά από το άτομο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *Ιονισμός*. Έτσι ο Ιονισμός είναι το αποτέλεσμα της σύγκρουσης ακτινοβολίας με την ύλη. Το ηλεκτρόνιο λέγεται *αρνητικό ιόν* και το άτομο που παραμένει θετικά φορτισμένο *θετικό ιόν* αφού τώρα υπερτερεί στο άτομο ένα θετικό φορτίο του πυρήνα. Το αρνητικό και θετικό ιόν που δημιουργήθηκαν ονομάζονται ζεύγος *ιόντων*. Η ακτινοβολία που όταν προσπέσει σε διάφορα υλικά δημιουργεί ζεύγη ιόντων, ονομάζεται *ιοντίζουσα ακτινοβολία*.



Σχ.1.3. Ιονισμός του ατόμου.

### 1.2.3. Φυσική Ραδιενέργεια

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται νουκλεόνια και μέσα στον πυρήνα βρίσκονται σε διαρκή κίνηση και παρότι μεταβιβάζουν ενέργεια εντούτοις καταφέρνουν να συγκρατούνται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις.



Αυτή η σταθερότητα του πυρήνα οφείλεται κυρίως, όταν το πλήθος των νουκλεονίων είναι μικρό και ο αριθμός των πρωτονίων είναι ο ίδιος ή παραπλήσιος με τον αριθμό των νετρονίων. Όταν ο πυρήνας ενός στοιχείου γίνει βαρύς και μάλιστα, όταν ο αριθμός των νετρονίων αυξηθεί εντυπωσιακά έναντι των πρωτονίων, τότε ο πυρήνας χάνει τη σταθερότητά του, διότι οι δυνάμεις μεταξύ των νουκλεονίων είναι ασθενείς και ο πυρήνας διασπάται εκπέμποντας ακτινοβολία. Στην περίπτωση αυτή το στοιχείο του οποίου ο πυρήνας είναι ασταθής, ονομάζεται *Ραδιενεργό*. Ο αριθμός των διασπάσεων ανά μονάδα χρόνου ονομάζεται *Ραδιενέργεια*. Μονάδα ραδιενέργειας είναι το Becquerel (Bq), ισούται με μια διάσπαση ανά δευτερόλεπτο και ανήκει στο διεθνές σύστημα (SI).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ διάσπαση /sec}$$

Ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται η παλαιά μονάδα ραδιενέργειας Curie (Ci) προς τιμήν του ζεύγους Curie και ισχύει  $1\text{Ci}=3,7\cdot 10^{10}$  διασπάσεις/s, δηλαδή  $1\text{Ci}=3,7\cdot 10^{10}\text{Bq}$  καθώς και τα υποπολλαπλάσιά της

$$1\text{mCi}=10^3\mu\text{Ci}=37\cdot 10^6\text{Bq}$$

$$1\mu\text{Ci}=37\cdot 10^3\text{Bq}.$$

Η ραδιενέργεια δεν επηρεάζεται από εξωτερικά αίτια όπως οι μεταβολές της υγρασίας, θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης κ.λπ. Η διάσπαση των πυρήνων είναι ένα φαινόμενο αυθόρμητο. Κάθε ραδιενεργό στοιχείο έχει το δικό του ρυθμό διάσπασης των πυρήνων του. Κάθε στοιχείο αποτελείται από πληθώρα ατόμων και παρακολουθώντας τη διάσπαση των πυρήνων τους, παρατηρείται ότι σε κάποια χρονική στιγμή, η οποία ονομάζεται χρόνος υποδιπλασιασμού (T), έχει διασπασθεί το ήμισυ του συνολικού αριθμού των αρχικών. Ο χρόνος υποδιπλασιασμού είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε ραδιενεργού στοιχείου και κυμαίνεται από λίγα δευτερόλεπτα (βραχύβιο) μέχρι χιλιάδες χρόνια (μακρόβιο).

Η πυρηνική Φυσική κι η τεχνολογία με τη βοήθεια των πυρηνικών αντιδραστήρων και των επιταχυντών κατασκεύασαν νέα στοιχεία που είναι ραδιενεργά καθώς και ισότοπα σταθερών στοιχείων επίσης ραδιενεργά, τα αποκαλούμενα Ραδιοϊσότοπα. Η όλη διαδικασία παραγωγής Τεχνητών Ραδιενεργών στοιχείων ονομάζεται Τεχνητή Ραδιενέργεια και επιτυγχάνεται με βομβαρδισμό σταθερών στοιχείων με σωματίδια υψηλής ενεργείας, όπως νετρόνια, πρωτόνια, ηλεκτρόνια και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Για την τελευταία θα γίνει εκτενής αναφορά.

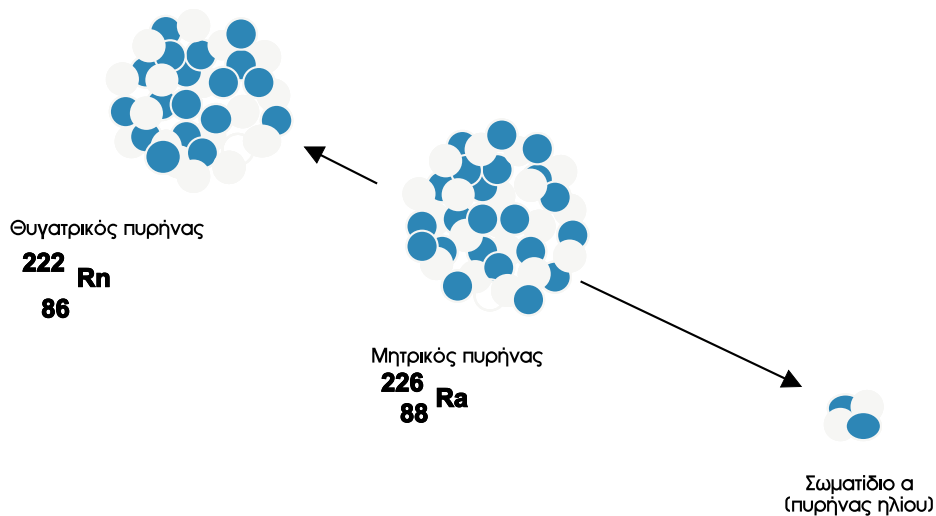
### 1.3. Φύση ακτινοβολιών

Τα ραδιενεργά στοιχεία είτε φυσικά είτε τεχνητά εκπέμπουν τις εξής ακτινοβολίες: ακτίνες α, ακτίνες β και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

#### 1.3.1. Ακτίνες Άλφα (α)

Βαρείς ραδιενεργοί πυρήνες, δηλαδή με μεγάλο Μαζικό Αριθμό, έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν ακτίνες α που είναι πυρήνες του στοιχείου Ήλιου. Κάθε πυρήνας Ηλίου, που προφανώς έχει θετικό φορτίο, αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια  ${}^4\text{He}$ .

Κατά την εκπομπή της α ακτινοβολίας η απώλεια των πρωτονίων και των νετρονίων έχει ως επακόλουθο τη δημιουργία νέου στοιχείου που ονομάζεται θυγατρικό. Το τελευταίο μπορεί να είναι σταθερό στοιχείο αλλά και ραδιενεργό το οποίο επίσης διασπάται και δημιουργείται νέο θυγατρικό που είναι επίσης ραδιενεργό κ.ο.κ. Σ' αυτήν την περίπτωση πρόκειται περί Ραδιενεργού Οικογένειας.



Σχ.1.4. Ακτινοβολία α.

Σε πολλές περιπτώσεις κατά την α διάσπαση ο πυρήνας βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση, δηλαδή διαθέτει περίσσειμα ενέργειας και προκειμένου να βρει τη σταθερή του κατάσταση, εκπέμπει μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ακτίνα γ).

Υπάρχουν περιπτώσεις που το Ραδιενεργό στοιχείο εκπέμπει δύο ακτίνες α διαφορετικής ενέργειας μεταξύ τους, έστω και κατά μικρό ποσοστό τη δεύτερη.

Η ακτινοβολία α ανιχνεύεται εύκολα κυρίως με τους εξής τρόπους:

- α.** Αμαυρώνει το film
- β.** Προκαλεί ορατό φως, όταν προσπέσει σε φθορίζον υλικό.
- γ.** Ευαισθητοποιεί όργανα ανίχνευσης ακτινοβολίας

Η διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας α είναι πολύ μικρή (mm) μέσα στους ιστούς ανεξαρτήτως της ενεργείας της - αλλά προκαλεί σχετικά πολύ μεγάλη βλάβη.

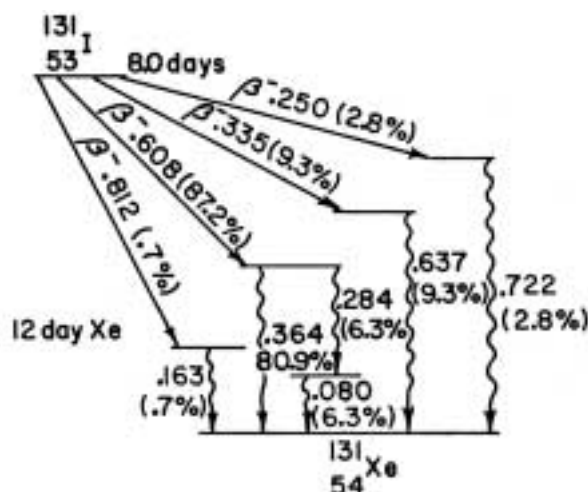
### 1.3.2. Ακτίνες Βήτα (β)

Υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία που εκπέμπουν ηλεκτρόνια και ονομάζονται ακτίνες β.



**Σχ.1.5. Εκπομπή β ακτινοβολίας.**

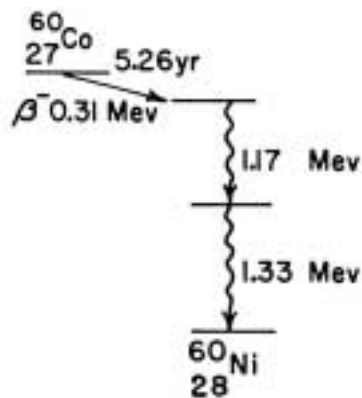
Παρατηρήθηκε ότι από ένα πλήθος ατόμων ενός ραδιενεργού στοιχείου που εκπέμπει ακτίνες β, η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου είναι διαφορετική. Τούτο συμβαίνει, διότι το φαινόμενο β εκπομπής συνοδεύεται κι από την ταυτόχρονη εκπομπή ενός πάρα πολύ μικρού σωματιδίου, χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, του νετρίνο που διαθέτει κι αυτό ενέργεια. Όμως το άθροισμα της συνολικής ενέργειας ηλεκτρονίου και νετρίνο είναι σταθερό κι επομένως θα υπάρχει αλληλοσυμπλήρωση της ενέργειας κάθε ηλεκτρονίου από την ενέργεια του νετρίνο.



**Σχ.1.6. Διάσπαση του Ιωδίου 131.**

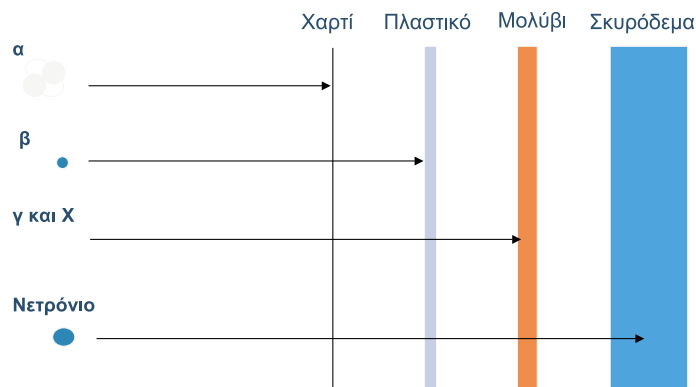
Και στην περίπτωση εκπομπής  $\beta$  παρατηρείται σε πολλά στοιχεία αποδιέγερση του πυρήνα με εκπομπή  $\gamma$  ακτινοβολίας. Υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία, όπως το Ιώδιο 131 που εκπέμπουν 4 ηλεκτρόνια διαφορετικής ενέργειας και σε διαφορετικό ποσοστό κι η εκπομπή αυτή ακολουθείται από 6 ακτίνες  $\gamma$  διαφορετικών ενεργειών. Τίθεται όμως το ερώτημα γιατί, εφόσον οι ακτίνες  $\beta$  είναι 4, υπάρχουν περισσότερες ακτίνες  $\gamma$ . Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι ο τρόπος ηρεμίας του πυρήνα στη συγκεκριμένη περίπτωση απαιτεί μετά την εκπομπή ενός ηλεκτρονίου να ακολουθούν 3 ακτίνες  $\gamma$ .

Μια τυπική εκπομπή  $e^-$  και στη συνέχεια  $\gamma$  είναι η περίπτωση του χρησιμοποιούμενου ευρύτατα στην Ακτινοθεραπεία Κοβαλτίου 60 ραδιοϊσοτόπου του Κοβαλτίου 59 που καταλήγει στο θυγατρικό σταθερό στοιχείο Νικέλιο.



Σχ.1.7. Διάσπαση Κοβαλτίου 60.

Σπανίως αντί για εκπομπή ηλεκτρονίου κατά τη  $\beta$ -διάσπαση παρατηρείται εκπομπή θετικά φορτισμένου ηλεκτρονίου, του ποζιτρονίου. Η διει-

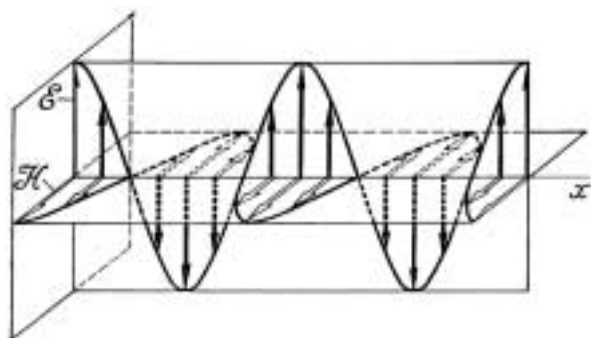


Σχ.1.8. Εύρος διαδρομής των διαφόρων τύπων ακτινοβολίας.

σδυτικότητα των ηλεκτρονίων είναι ανάλογη με την ενέργειά τους και προκαλούν μικρότερες βλάβες στους ιστούς απ' όσες οι ακτίνες α.

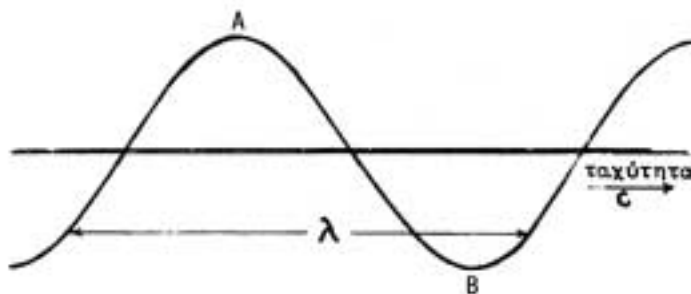
### 1.3.3. Ακτίνες γ

Οι ακτίνες γ ανήκουν στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και εκπέμπονται κατά την αποδιέγερση του πυρήνα ραδιενεργού στοιχείου μετά την εκπομπή α ή β. Η ποιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι όμοια προς τα ραδιοφωνικά κύματα, το ορατό φως, τις υπεριώδεις ακτίνες. Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κι ένα μαγνητικό πεδίο που και τα δύο χρονικά μεταβάλλονται (Θεωρία Maxwell). Τα δύο είδη κυμάτων κινούνται κάθετα μεταξύ τους και μεταβιβάζουν ενέργεια.



**Σχ.1.9. Μεταβολή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε συνάρτηση με την απόσταση.**

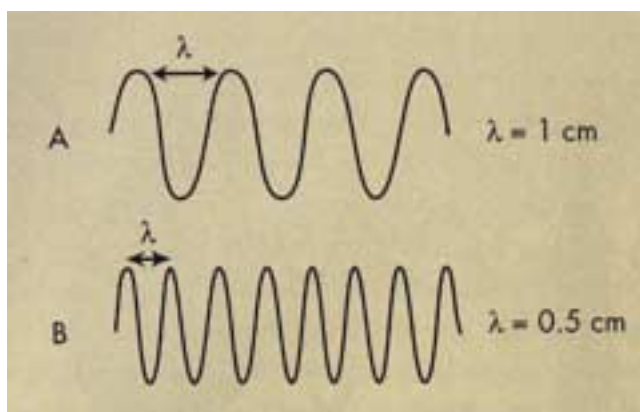
Για λόγους διδακτικούς καταγράφεται μόνο η μεταβολή του ηλεκτρικού κύματος που προσομοιάζει μ' ένα τεντωμένο σχοινί το οποίο κινείται ρυθμικά πάνω κάτω. Η απόσταση AB ονομάζεται εύρος του κύματος.



**Σχ.1.10. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.**

Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει επί ενός υλικού, η ακτινοβολία άλλοτε συμπεριφέρεται ως κύμα για να ερμηνευτούν τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης κι άλλοτε ως σωματίο για να ερμηνευθούν τα φαινόμενα της απορρόφησης και της σκέδασης. Στην τελευταία περίπτωση ο Einstein διατύπωσε τη θεωρία ότι η μεταβιβαζόμενη ενέργεια μιας φωτεινής δέσμης διαδίδεται με συγκεκριμένα ποσά ενέργειας των κβάντων ενέργειας ή φωτονίων. Οι ακτίνες γ επομένως είναι πακέτα ενέργειας (φωτόνια) που διαδίδονται με ταχύτητα στο κενό  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Κάθε φωτόνιο (quantum) είναι η μικρότερη ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως το άτομο είναι η μικρότερη ποσότητα ενός στοιχείου.

Όλα τα κύματα χαρακτηρίζονται από το μήκος κύματος  $\lambda$  και τη συχνότητά τους  $\nu$ . Στο σχήμα 1.11 παρουσιάζονται δύο κύματα με διαφορετικό  $\lambda$ .



**Σχ.1.11. Δύο κύματα με διαφορετικό  $\lambda$ .**

Μονάδα μήκους κύματος είναι το μέτρο (m), αλλά στο χώρο της Ιατρικής η γ ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει πολύ μικρό μήκος κύματος και γι αυτό χρησιμοποιείται η μονάδα Angstrom= $10^{-10} \text{ m}$ .

Ορίζεται συχνότητα  $\nu$  και μετριέται σε Herz (Hz) ο αριθμός των ορέων ή των κοιλάδων που περνούν από ένα σημείο στη μονάδα του χρόνου (s). Έτσι, αν διέρχονται 30 όρη εντός 10s, τότε η συχνότητα θα είναι 3Hz.

Σε κάθε κύμα το μήκος κύματος κι η συχνότητα συνδέονται με την ταχύτητα του κύματος σύμφωνα με την εξίσωση  $v = \lambda \cdot \nu$ .

Παρατηρείται ότι το γινόμενο του μήκους κύματος επί τη συχνότητα είναι σταθερό συνεπώς, όταν αυξάνει η συχνότητα, θα μειώνεται το μήκος κύματος κι αντιστρόφως.

Η εξίσωση του κύματος χρησιμοποιείται και για τα ηχητικά κύματα, τα οποία παράγει λόγω χάρη ένα διαπασών αλλά η ταχύτητα κι η διάδοσή τους δεν έχουν καμιά σχέση με τις ακτίνες γ. Ενώ τα φωτόνια κινούνται

με την ταχύτητα του φωτός, η ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων εξαρτάται από την πυκνότητα της ύλης από την οποία διέρχονται, ενώ στο κενό δε διαδίδονται. Ηχητικά κύματα μεγαλύτερης συχνότητας (υπέρηχοι) χρησιμοποιούνται ευρύτατα στον τομέα της διαγνωστικής.

Είδος Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	$\lambda$
Ραδιοφωνικά, radar	$3 \cdot 10^3 \text{m}$ έως $10^2 \text{m}$
Υπέρυθρη ακτινοβολία	$10^{-4}$ έως $8.000 \text{ A}$
Ορατό φως	$7.500 \text{ A}$ έως $3.900 \text{ A}$
Υπεριώδες	$3.900 \text{ A}$ έως $20 \text{ A}$
RX για Διαγνωστικούς σκοπούς	$1 \text{ A}$ έως $0,1 \text{ A}$
RX και $\gamma$ για θεραπευτικούς σκοπούς	$0,1 \text{ A}$ έως $10^{-4} \text{ A}$

**Πίνακας 1.1. Διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε σχέση με το αντίστοιχο μήκος κύματος.**

Τα χρησιμοποιούμενα για οικιακή χρήση μικροκύματα έχουν μήκος κύματος από  $10^{-4}$  έως  $1 \text{m}$ . Στις ιατρικές εφαρμογές - διάγνωση, θεραπεία - χρησιμοποιείται η σωματιδιακή υφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το ποσό της ενέργειας που διαθέτει κάθε φωτόνιο εξαρτάται από τη συχνότητα  $\nu$ . Αν η συχνότητα διπλασιαστεί, διπλασιάζεται κι η ενέργεια του φωτονίου και υπολογίζεται από το γινόμενο της συχνότητας και μιας σταθεράς  $h$  (σταθερά του Planck) προς τιμήν του Γερμανού Φυσικού (βραβείο Nobel 1918). Η τιμή της σταθεράς  $h$  είναι

$$h=4,15 \cdot 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$$

Το eV είναι μονάδα ενέργειας και ορίζεται ως η ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτρόνιο, όταν μετακινηθεί μεταξύ δύο σημείων, των οποίων η διαφορά δυναμικού είναι 1 Volt. Το eV και τα πολλαπλάσιά του δεν ανήκουν στο σύστημα SI αλλά χρησιμοποιούνται μόνο στην πυρηνική φυσική  $1 \text{KeV}=10^3 \text{eV}$  και  $1 \text{MeV}=10^3 \text{keV}=10^6 \text{eV}$

Η ενέργεια κάθε φωτονίου  $E=h \cdot \nu$

$$E_{\text{ev}}=h(\text{eV}\cdot\text{s}) \cdot \nu(1/\text{s})$$

κι επειδή  $\nu=c/\lambda$ , όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός

$$E=h(c/\lambda).$$

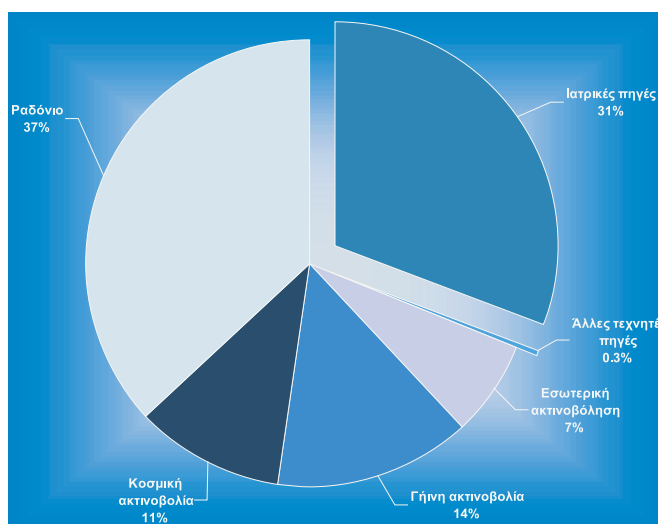
Οι ακτίνες  $\gamma$  είναι ιδιαίτερα διεισδυτικές και προκαλούν βλάβες στους ιστούς.

## 1.4. Ο άνθρωπος και το ραδιενεργό περιβάλλον

Κάθε ζωντανός οργανισμός που βρίσκεται στη γη εκτίθεται σε μικρές σχετικά ποσότητες ακτινοβολίας οι οποίες προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές πηγές. Τρεις είναι οι φυσικές πηγές που αθροιστικά συμβάλλουν στην έκθεση του ανθρώπου στην ακτινοβολία:

- α.** Η κοσμική ακτινοβολία
- β.** Η ακτινοβολία από ραδιενεργές πηγές που βρίσκονται στα γήινα στρώματα και
- γ.** Οι τεχνητές πηγές ακτινοβολίας

Η μέση ετήσια δόση ακτινοβολίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από όλες τις πηγές ανέρχεται στα 3,42 mSv και η συνεισφορά των επι μέρους πηγών φαίνεται στο σχ.1.12.



Σχ.1.12. Μέση ετήσια δόση ακτινοβολίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (UNSCEAR 1993).

### 1.4.1. Κοσμική Ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από σωμάτια και φωτόνια που εκπέμπονται από τον ήλιο και τ' αστέρια. Είναι διεισδυτική ακτινοβολία και διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή.

- α.** Πρωτογενής: Είναι η αρχική ακτινοβολία και αποτελείται από πρωτόνια ενέργειας έως  $10^{10}$  GeV.
- β.** Δευτερογενής: Προέρχεται από τη σύγκρουση των πρωτονίων με ατομικούς πυρήνες των συστατικών των ανωτάτων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.

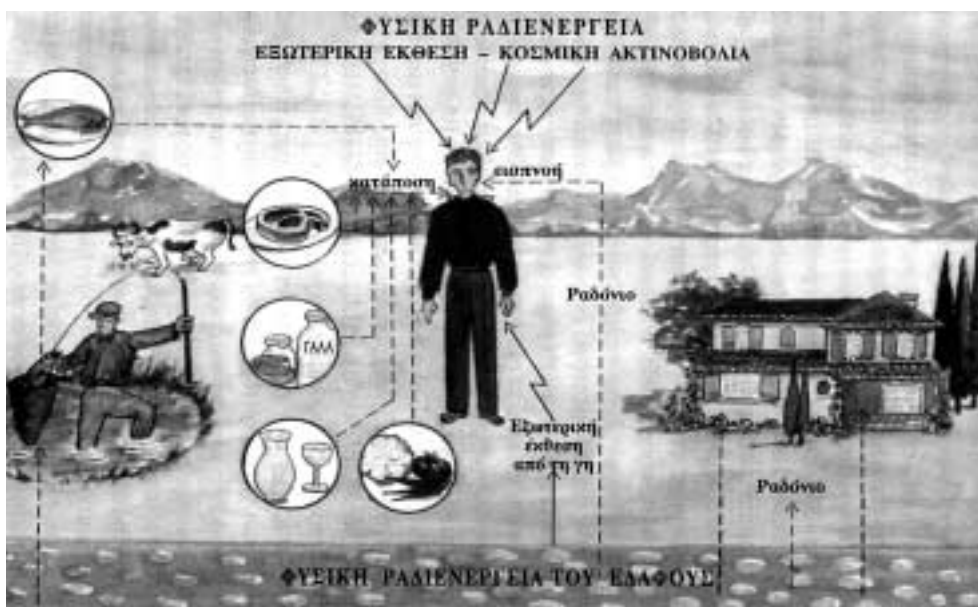


Πρόκειται για κλασική περίπτωση πυρηνικών αντιδράσεων. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η παραγωγή νέων βλημάτων υψηλής ενέργειας, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν αντιδράσεις στη γη. Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία συνίσταται από ποικιλία σωματίων, όπως πρωτόνια, ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια, μεσόνια και φωτόνια γ εξαιρετικά υψηλής ενέργειας. Τα μεσόνια είναι σωματίδια με μάζα μεγαλύτερη από το ηλεκτρόνιο και μικρότερη από το πρωτόνιο. Φέρουν ηλεκτρικό φορτίο θετικό, αρνητικό ή είναι αφόρτιστα.

Η κοσμική ακτινοβολία φθάνει στη γη σαφώς εξασθενημένη δεδομένου ότι είναι υποχρεωμένη να διέλθει από το εξαιρετικά μεγάλο πάχος της περιβαλλόμενης ατμόσφαιρας. Παρά ταύτα γίνεται αισθητή λόγω της τεράστιας ενέργειάς της, απόδειξη ότι διαπερνά μεγάλου πάχους μολύβδινα τοιχώματα ή εισχωρεί στη γη σε μεγάλο βάθος. Είναι προφανές ότι η κοσμική ακτινοβολία αυξάνεται με το ύψος, δηλαδή όσο πλησιάζουμε προς τον τόπο προέλευσής της. Στις περιοχές των πόλων της γης η κοσμική ακτινοβολία αυξάνεται και οφείλεται στην εκτροπή της από το γήινο μαγνητικό πεδίο.

#### 1.4.2. Γήινες πηγές ακτινοβολίας

Η γήινη ακτινοβολία προέρχεται από τα ραδιενεργά στοιχεία Ουράνιο και Θόριον που βρίσκονται στα πετρώματα. Στη γη υπάρχουν επίσης κι άλλα ραδιενεργά στοιχεία αλλά σε πολύ μικρές ποσότητες.



Σχ.1.13. Η ραδιενέργεια και οι φυσικές ακτινοβολίες.

Οι περιοχές με τις μεγαλύτερες ποσότητες ραδιενεργών στοιχείων στα πετρώματά τους είναι η Ινδία, η Βραζιλία κι η Μεγάλη Βρετανία. Το σημαντικότερο ποσό της γήινης ακτινοβολίας προέρχεται από το στοιχείο Ραδόνιο (Rn). Τούτο είναι αέριο ραδιενεργό στοιχείο που εκπέμπει ακτίνες α και παράγεται από την φυσική απομείωση του Ουρανίου. Το Ραδόνιο ανιχνεύεται γενικά στα οικοδομικά υλικά, όπως σκυρόδεμα, τούβλα, γύψο κ.λπ. Το Rn προκαλεί βλάβη στον οργανισμό, εφόσον εισπνέεται σε μεγάλη ποσότητα.

Η επιβάρυνση ενός κατοίκου της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το Ραδόνιο ανέρχεται στο 37% (1,198 mSv) της μέσης ετήσιας δόσης ακτινοβολίας απ' όλες τις φυσικές και τεχνητές πηγές (σχ.1.12). Το αντίστοιχο ποσοστό στις ΗΠΑ ανέρχεται στο 55% της μέσης ετήσιας δόσης ακτινοβολίας. Εκτός από το Ραδόνιο ανιχνεύεται κι άλλο αέριο ραδιενεργό στοιχείο το Θόριον. Και τα δύο εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό με την εισπνοή.

Τέλος το  $^{40}\text{K}$  που περιέχεται σε μικρή ποσότητα στο φυσικό Κάλιο επιβαρύνει τον ανθρώπινο οργανισμό. Το  $^{40}\text{K}$  εκπέμπει β και γ ακτινοβολία κι έχει χρόνο υποδιπλασιασμού εκατομμύρια έτη.

### 1.4.3. Τεχνητές πηγές ακτινοβολίας

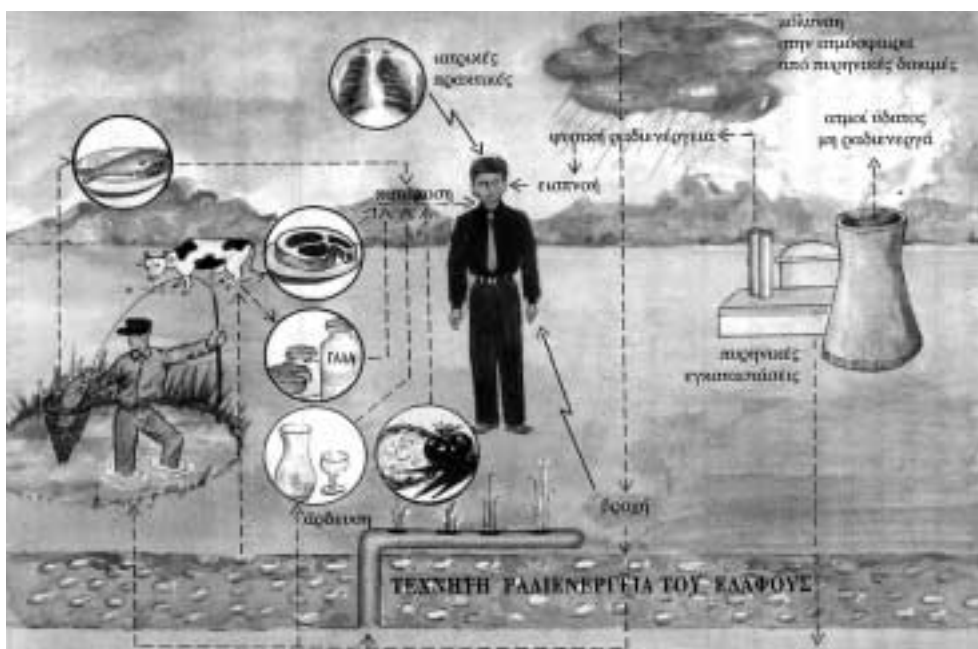
Η ευρεία εφαρμογή πηγών ακτινοβολίας κατασκευασμένων από τον άνθρωπο είναι η τρίτη αιτία ένεκα της οποίας εκτίθενται στην ακτινοβολία οι επαγγελματίες ασχολούμενοι αλλά κι ο πληθυσμός γενικότερα. Επειδή σε αρκετές περιπτώσεις οι εκθέσεις στην ακτινοβολία μπορεί να είναι σημαντικές απαιτείται γι' αυτό το λόγο ιδιαίτερη προσοχή και λήψη αποτελεσματικών μέτρων ακτινοπροστασίας.

Πρώτος παράγοντας έκθεσης είναι η χρήση ακτίνων X για ιατρικούς σκοπούς (ακτινογραφία, ακτινοσκόπηση, ακτινοθεραπεία). Το κέρδος από τη χρήση τους είναι αναμφισβήτητο, όμως κι ο έλεγχος της ακτινοβολίας είναι απαραίτητος. Επίσης η μέχρι πριν λίγα χρόνια χρήση του Ραδίου για θεραπευτικούς σκοπούς είχε ως αποτέλεσμα την υπερέκθεση στην ακτινοβολία μεγάλου αριθμού ανθρώπων που εμφάνισαν καρκίνο. Θύμα αυτής της συνέπειας ήταν κι η M.Curie. Οι βλάβες από την ακτινοθεραπεία παρατηρήθηκαν σε περιορισμένο αριθμό ανθρώπων, οι οποίοι χρειάστηκε ν' ακτινοβοληθούν για θεραπευτικούς σκοπούς.

Για διαγνωστικούς σκοπούς εισάγονται ραδιενεργά υλικά ενδοφλεβίως κι εξετάζονται αδένες ή τμήματα του ανθρωπίνου σώματος και αυτό αποτελεί αντικείμενο της Πυρηνικής Ιατρικής.

Η ύπαρξη ραδιενεργών υλικών στην ατμόσφαιρα από οποιαδήποτε αιτία - πυρηνικές δοκιμές, πυρηνικά ατυχήματα, ραδιενεργά κατάλοιπα - επιβαρύνουν επίσης τον πληθυσμό με την εισπνοή και με την κατάποση. Τα ραδιενεργά υλικά είτε επικάθονται στο έδαφος μόνα τους είτε παρασύρονται από τη βροχή.

Έτσι αναπόφευκτα τα γεωργικά προϊόντα περιέχουν ραδιενεργά υλικά που εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό. Επίσης τα γαλακτοκομικά προϊόντα περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία, αφού τα ζώα τρέφονται από τη γη. Και φυσικά τα ίδια τα ζώα, εφόσον καταναλώνονται από τον άνθρωπο, είναι μολυσμένα με ραδιενεργά υλικά. Τέλος ραδιενεργά στοιχεία και ραδιενεργά απόβλητα που καταλήγουν στα ποτάμια και τις λίμνες είναι φυσικό να μολύνουν και το νερό, άρα και τα ψάρια. Ο άνθρωπος καταναλώνοντας ψάρια ή πίνοντας νερό εισάγει στον οργανισμό του ραδιενεργά στοιχεία.



**Σχ.1.14. Η ραδιενέργεια και οι ακτινοβολίες ανθρώπινης προέλευσης.**

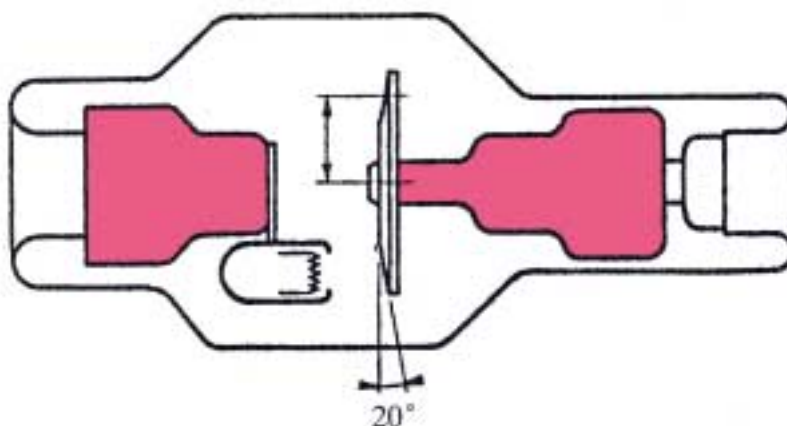
## 1.5 Ακτίνες Χ

### 1.5.1. Λυχνία ακτίνων Χ

Η σημερινή λυχνία ακτίνων Χ είναι ένας αερόκενος σωλήνας στον οποίο έχουν τοποθετηθεί δύο ηλεκτρόδια το αρνητικό η Κάθοδος και το θετικό η Άνοδος. Η Κάθοδος αποτελείται από ένα νήμα Βολφραμίου (W)

το οποίο βρίσκεται μέσα σ' ένα κοίλο περίβλημα. Με ένα ξεχωριστό κύκλωμα τάσης ολίγων Volt η Κάθοδος θερμαίνεται, οπότε με την προσφορά ενέργειας τα ηλεκτρόνια της εξώτατης στιβάδας του κάθε ατόμου του βολφραμίου δέχονται αρκετή ενέργεια κι εξέρχονται εκτός του ατόμου. Όσο περισσότερη ενέργεια δίνεται στο νήμα τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία του, οπότε αυξάνεται και ο αριθμός των εξερχόμενων ηλεκτρονίων (θερμιονική εκπομπή).

Όταν στα άκρα Ανόδου Καθόδου εφαρμοσθεί υψηλή διαφορά δυναμικού της τάξης των δεκάδων kV, τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην Κάθοδο έλκονται από την Άνοδο και οδεύουν σ' αυτή με μεγάλη ταχύτητα.



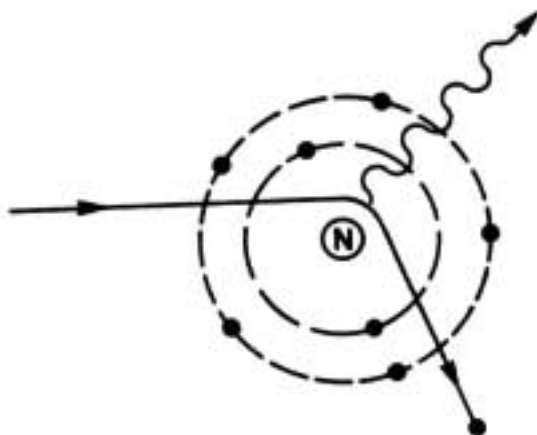
**Σχ.1.15. Λυχνία ακτίνων X.**

Η υψηλή διαφορά δυναμικού επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή που μετατρέπει τα 220Volts της πόλης σε kV. Προκειμένου τα ηλεκτρόδια να έχουν την ίδια πάντα πολικότητα, χρησιμοποιείται ανορθωτικό σύστημα. Έτσι η εναλλασσόμενη τάση χάνει το αρνητικό τμήμα της. Με ειδικές ανορθωτικές διατάξεις η εναλλασσόμενη τάση διατηρείται πρακτικά σταθερή.

Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι μεγάλη, διότι:

- α.** Δεν παρεμποδίζεται από μόρια αέρα λόγω του κενού
- β.** Η απόσταση K-A είναι πολύ μικρή (10cm).

Το πλήθος αυτό των ηλεκτρονίων το οποίο κυκλοφορεί μέσα στη λυχνία, ονομάζεται ρεύμα της λυχνίας και είναι υψηλής έντασης. Τα ηλεκτρόνια που κτυπούν στην Άνοδο από Βολφράμιο, όταν περάσουν κοντά από τον πυρήνα των ατόμων της, έλκονται από το μεγάλο θετικό φορτίο του πυρήνα και υφίστανται μια απότομη πέδηση (ξαφνική επιβράδυνση). Κατά τη διαδικασία αυτή παράγονται οι ακτίνες X.



**Σχ.1.16. Ακτινοβολία πέδησης.**

Οι ακτίνες X εκπέμπονται ισότροπα και με την ίδια ένταση προς όλες τις κατευθύνσεις. Μόνο ένα μέρος από αυτές τις ακτίνες χρησιμοποιείται για τις ακτινολογικές εξετάσεις, ονομάζεται χρήσιμη δέσμη και περιορίζεται από ένα σύστημα διαφραγμάτων. Οι υπόλοιπες ακτίνες X που κατευθύνονται προς άλλες διευθύνσεις, εμποδίζονται μ' ένα φύλλο Μολύβδου (Pb), το οποίο περιβάλλει την λυχνία.

Η χρήσιμη δέσμη είναι σχεδόν κάθετη προς τη διεύθυνση του ρεύματος της λυχνίας κι επιτυγχάνεται με μικρή κλίση λίγων μοιρών της Ανόδου. Η κλίση της τελευταίας εξυπηρετεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε η προέλευση των ακτίνων X να είναι πολύ μικρής επιφάνειας ( $\text{mm}^2$ ), οπότε επιτυγχάνεται και σαφήνεια της ακτινογραφίας.

Κατά την παραγωγή των ακτίνων X αναπτύσσονται μεγάλα ποσά θερμότητας στην Άνοδο. Στην περιοχή της Ακτινοδιαγνωστικής μόνο το 1% της ενέργειας μετατρέπεται σε ακτίνες X και το υπόλοιπο 99% σε θερμότητα.

Το ποσό αυτό της θερμότητας πρέπει να διοχευτεθεί εκτός της Ανόδου, διότι διαφορετικά με την παρατεταμένη χρήση της λυχνίας θα καταστραφεί. Έτσι ένα μέρος της θερμότητας απάγεται με ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της έκθεσης. Τότε η Άνοδος “κοκκινίζει”, διότι εκπέμπεται υπέρυθρη ενέργεια. Επίσης ένα μέρος της θερμότητας διοχετεύεται προς τα τμήματα που περιβάλλουν το στόχο, κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τα χέρια μιας ζεστής κατσαρόλας. Ο ουσιαστικός τρόπος απαγωγής της θερμότητας προκαλείται με το ρεύμα αέρα λόγω της περιστροφής της Ανόδου (3.000 στροφές/min). Μ' αυτόν τον τρόπο η θερμότητα εκτινάσσεται στο εσωτερικό της λυχνίας και προκειμένου να μην υπερθερμανθεί, το υάλινο περίβλημα τοποθετείται στην εξωτερική του επιφάνεια στρώμα ελαίου.

Η ισχύς που δέχεται η Άνοδος είναι πολύ υψηλή, επειδή ο χρόνος λειτουργίας της λυχνίας είναι πολύ μικρός της τάξης των δεκάτων ή εκατοστών του δευτερολέπτου.

Αν σε κάθε ακτινογραφική πράξη τα ηλεκτρόνια προσέκρουαν πάντα στο ίδιο σημείο, ο στόχος θα καταπονούνταν σημαντικά. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε περιστρεφόμενη Άνοδος σε σχήμα κολουρου κώνου, ώστε σε κάθε έκθεση τα ηλεκτρόνια να κτυπούν και σε άλλη περιοχή (σχ.1.15).

Με την χρήση Ανόδου από Βολφράμιο ( $Z=74$ ) αποφεύγεται η τήξη του μετάλλου αλλά και εξασφαλίζεται έντονη εκπομπή ακτίνων Χ. Η ζωή της περιστρεφόμενης Ανόδου μειώνεται από την παρατεταμένη χρήση και τούτο διότι τμήματα της επιφάνειάς της θα εξαχνωθούν, θα δημιουργηθούν ανώμαλες επιφάνειες και οπές, οπότε θα μειωθεί η ικανότητα παραγωγής ακτίνων Χ.

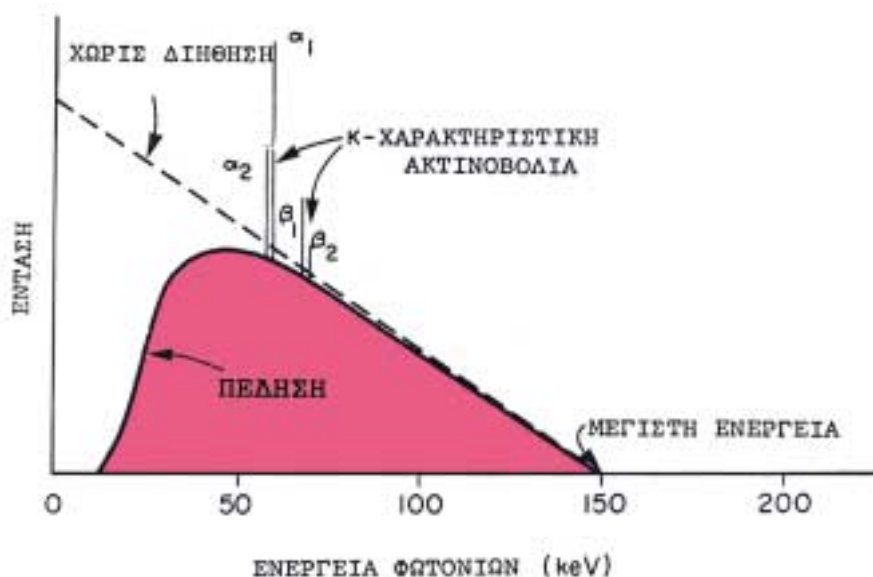
Οι λυχνίες ακτίνων Χ διαθέτουν δύο νήματα (Καθόδους). Ένα λεπτό που όπως λέγεται αντιστοιχεί στη μικρή εστία και χρησιμοποιείται είτε για την ακτινοσκόπηση είτε για ακτινογραφίες που απαιτούν μικρό φορτίο. Το άλλο νήμα είναι παχύτερο και επιστρατεύεται για τις ακτινολογικές εξετάσεις που απαιτούν μεγάλο φορτίο.

Εκτός του φαινομένου πεδήσεως (παραγωγή ακτίνων Χ) που παρατηρείται, όταν τα ηλεκτρόνια περνούν κοντά από τον πυρήνα των ατόμων του στόχου, ανιχνεύεται και άλλου είδους ακτινοβολία φωτονίων. Αυτό συμβαίνει, διότι πολλά ηλεκτρόνια συγκρούονται με ηλεκτρόνια των ατόμων του στόχου.

Σε κάθε σύγκρουση το ηλεκτρόνιο απομακρύνεται από το άτομο και την κενή θέση του στη στιβάδα καταλαμβάνει ηλεκτρόνιο εξώτερης στιβάδας. Αυτή η μετακίνηση συνοδεύεται από εκπομπή ενός φωτονίου συγκεκριμένης ενέργειας η οποία ονομάζεται χαρακτηριστική ακτινοβολία. Το ποσοστό στη δέσμη ακτίνων Χ της ακτινοβολίας πεδήσεως είναι 80% και το υπόλοιπο χαρακτηριστική ακτινοβολία. Επειδή κατά το φαινόμενο πεδήσεως δεν εκτρέπονται όλα τα ηλεκτρόνια κατά τον ίδιο τρόπο γι' αυτό παρατηρείται μεγάλη ποικιλία ενεργειών ακτίνων Χ. Άρα μια δέσμη ακτίνων Χ είναι μίγμα φωτονίων από πέδηση και χαρακτηριστικής ακτινοβολίας. Το σύνολο των ακτίνων Χ σε συνάρτηση με την ενέργειά τους ονομάζεται φάσμα.

### 1.5.2. Φάσματα ακτίνων X

Η γραφική παράσταση του πλήθους των ακτίνων X σε σχέση με την ενέργειά τους φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχ.1.17. Φάσμα ακτίνων X.

Στο σχήμα φαίνεται ότι το μεγάλο πλήθος ακτίνων X έχει μικρή ενέργεια κι επομένως μικρή διεισδυτικότητα, άρα είναι άχρηστο για μια ακτινογραφία. Αντίθετα επιβαρύνει με ακτινοβολία τον εξεταζόμενο. Για το λόγο αυτό παρεμβάλλεται στη χρήσιμη δέσμη φίλτρο Αλουμινίου περίπου 2mm που μαζί με το γυάλινο περίβλημα και το παράθυρο Βηρυλλίου (Be) εξουδετερώνουν πλήρως τις μικρές ενέργειες των φωτονίων. Βεβαίως η διήθηση αυτή μειώνει και τις άλλες ενέργειες των φωτονίων αλλά μόνον οι μικρές ενέργειες εξαφανίζονται, όπως φαίνεται και στο σχήμα.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι οι ακτίνες X ανήκουν στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως κι οι ακτίνες γ. Όμως διαφέρουν ως προς την προέλευσή τους. Οι ακτίνες X προέρχονται από διεγερμένα άτομα ενώ οι ακτίνες γ από διεγερμένους πυρήνες.



## 1.6. Εφαρμογές των ακτινοβολιών

Οι ακτινοβολίες έχουν ευρύτατη εφαρμογή σε πολλούς κλάδους επιστημονικούς και επαγγελματικούς.

**α.** Στην Ιατρική: Η Ακτινοδιαγνωστική και γενικώς η Ιατρική επιστήμη οφείλει πολλά στις ακτίνες X. Για διαγνωστικούς σκοπούς χρησιμοποιούνται στη Κλασική Ακτινολογία, Αξονική Τομογραφία, Μαστογραφία, Οδοντιατρική, καθώς και στη θεραπεία (θεραπευτικές λυχνίες ακτίνων X, Επιταχυντές).

Με τις ακτίνες γ που προέρχονται από ραδιενεργά στοιχεία (Πυρηνική Ιατρική) εξετάζεται η μορφολογία τμημάτων του ανθρώπινου σώματος καθώς κι η κυκλοφορία των ραδιενεργών στοιχείων (δυναμικές μελέτες). Ακτίνες γ αξιοποιούμε στην ακτινοθεραπεία (Κοβάλτιο 60).

**β.** Στη Βιομηχανία: Με τη βοήθεια ακτινοβολίας αποστειρώνονται σύριγγες, ιατρικά εργαλεία, τροφές, σπόροι, κ.λ.π. Με ακτίνες X ελέγχονται χυτά και σφυρήλατα μέρη μηχανημάτων συγκολλήσεων (Ραδιογραφία). Επίσης ελέγχονται πάχη προϊόντων (τσιγάρα, κρύσταλλα) κ.λπ.

**γ.** Στην Παραγωγή Ενέργειας: Πολλές χώρες, καταφεύγουν στην πυρηνική ενέργεια με τη βοήθεια των πυρηνικών αντιδραστήρων όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση πετρελαίου, άνθρακα, υδατοπτώσεων ή εκμετάλλευσης των ανέμων (αιολική ενέργεια) δεν είναι εφικτή για οικονομικούς ή άλλους λόγους.

**δ.** Στην Έρευνα: Σε διάφορα πυρηνικά κέντρα χάρις στις έρευνες των επιστημόνων αναπτύχθηκαν τομείς της Φυσικής, Χημείας, Ακτινοχημείας, Βιολογίας, Φαρμακολογίας, Αρχαιολογίας, κ.λπ.

## Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι πρωτοπόροι επιστήμονες και ερευνητές που ανακάλυψαν τα ραδιενεργά υλικά ενώ επιχειρείται και μια μικρή ιστορική αναδρομή στην Ακτινοπροστασία. Ακολουθώς γίνεται μια αναφορά στη δομή του ατόμου και δίνονται οι ορισμοί του μαζικού και ατομικού αριθμού καθώς και του ισοτόπου. Εξηγείται επίσης η διέγερση, ο ιονισμός, η φυσική ραδιενέργεια και οι μονάδες της. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις ακτινοβολίες α, β και γ και συγκεκριμένα στην ποιότητά τους, τη διεισδυτικότητα τους και γενικότερα στις εφαρμογές τους.

Στην συνέχεια δίνονται πληροφορίες για την κοσμική ακτινοβολία, τις γήινες και τεχνητές πηγές ακτινοβολίας και τις επιπτώσεις τους στον άνθρωπο.

Στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου περιγράφεται η λυχνία των ακτίνων X, η φύση των ακτίνων X, η προέλευσή τους, τα φάσματα και φυσικά οι εφαρμογές των ακτινοβολιών σε διάφορους τομείς, όπως στην Ιατρική, στην Βιομηχανία, στη παραγωγή Ενέργειας και στην Έρευνα.



## Ερωτήσεις

1. Ο Φώσφορος γράφεται  $^{31}_{15}P$ . Πόσα νετρόνια έχει;
  - A. 15
  - B. 31
  - Γ. 5
  - Δ. 16
2. Σ' ένα άτομο η στιβάδα N πόσα ηλεκτρόνια έχει
  - A. 32
  - B. 18
  - Γ. 2
  - Δ. 40
3. Το ζεύγος ιόντων είναι
  - A. Δύο ηλεκτρόνια
  - B. Τρία πρωτόνια
  - Γ. Ένα νετρόνιο
  - Δ. Τίποτα από τα πιο πάνω
4. Έχετε ένα στοιχείο  $^{68}_{18}X$  ποιο είναι το ισότοπό του
  - A.  $^{58}_{40}X$
  - B.  $^{58}_7X$
  - Γ.  $^{59}_{18}X$
  - Δ. Όλα τα πιο πάνω
5. Τι είναι το Becquerl
  - A. Μονάδα ισχύος στο SI
  - B. Μονάδα συχνότητας
  - Γ. Μονάδα ραδιενέργειας
  - Δ. Μονάδα μήκους κύματος
6. Χρόνος υποδιπλασιασμού ενός ραδιενεργού στοιχείου είναι ο χρόνος στην διάρκεια του οποίου μειώνονται οι αρχικοί N πυρήνες σε
  - A.  $N/2^1$
  - B.  $N/2^2$
  - Γ.  $N/2^0$
  - Δ.  $N/2^3$

7. Πού απαντάται το νετρίνο
- A. Μετά την εκπομπή ακτίνων α
  - B. Μετά από απότομη πτώση της θερμοκρασίας
  - Γ. Με απότομη πέδηση των  $e^-$
  - Δ. Με την εκπομπή ακτίνων β
8. Τι είναι η κοσμική ακτινοβολία
- A. Ακτινοβολία που βγαίνει από μια λυχνία RX
  - B. Πλήθος ηλεκτρονίων που προέρχεται από ραδιενεργό πυρήνα
  - Γ. Ακτινοβολία που προέρχεται από το διάστημα
  - Δ. Τίποτα από τα πιο πάνω
9. Γιατί η λυχνία RX είναι αερόκενη
- A. Διότι έχει μικρότερο κόστος
  - B. Διότι δεν αλλοιώνεται η κινητή ενέργεια των  $e^-$  από την κάθοδο προς την άνοδο
  - Γ. Διότι ψύχεται εύκολα
  - Δ. Για όλα τα πιο πάνω
10. Γιατί το φάσμα των ακτίνων X είναι μεικτό
- A. Διότι η δέσμη διέρχεται από φίλτρο 2mmAl
  - B. Διότι η δέσμη διευθύνεται καθέτως προς τη διεύθυνση του ρεύματος της λυχνίας
  - Γ. Διότι ευθύνεται η θερμοϊονική εκπομπή
  - Δ. Για κανένα από τα πιο πάνω.
11. Ένα Bq είναι ίσο με \_\_\_ διάσπαση/σεις ανά sec
- A. 1
  - B. 10
  - Γ. 100
  - Δ.  $3.7 \times 10^{10}$
12. Το μεγαλύτερο ποσοστό της μέσης ετήσιας δόσης ακτινοβολίας στον άνθρωπο οφείλεται
- A. στην ιατρική απεικόνιση
  - B. στην κοσμική ακτινοβολία
  - Γ. στο ραδόνιο
  - Δ. στη γήινη ακτινοβολία

- 13.** Το αέριο ραδόνιο προέρχεται  
 Α. Από το μαγνητικό πεδίο της γης  
 Β. Από την περιστροφή της γης  
 Γ. Από τη ραδιενεργό διάσπαση του άνθρακα 14  
 Δ. Από τη ραδιενεργό διάσπαση του ουρανίου 238
- 14.** Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία συνίσταται  
 Α. Από ακτίνες α  
 Β. Από νετρόνια  
 Γ. Από νετρίνο  
 Δ. Κανένα από τα παραπάνω
- 15.** Το ραδόνιο επηρεάζει τον άνθρωπο  
 Α. Με την εισπνοή  
 Β. Με την έκθεσή του στον ήλιο  
 Γ. Με την κατανάλωση τροφίμων  
 Δ. Με την κατανάλωση ποτών

### Απαντήσεις

- 1.** Δ  
**2.** Α  
**3.** Δ  
**4.** Γ  
**5.** Γ  
**6.** Α  
**7.** Δ  
**8.** Γ  
**9.** Β  
**10.** Δ  
**11.** Α  
**12.** Γ  
**13.** Δ  
**14.** Δ  
**15.** Α

