

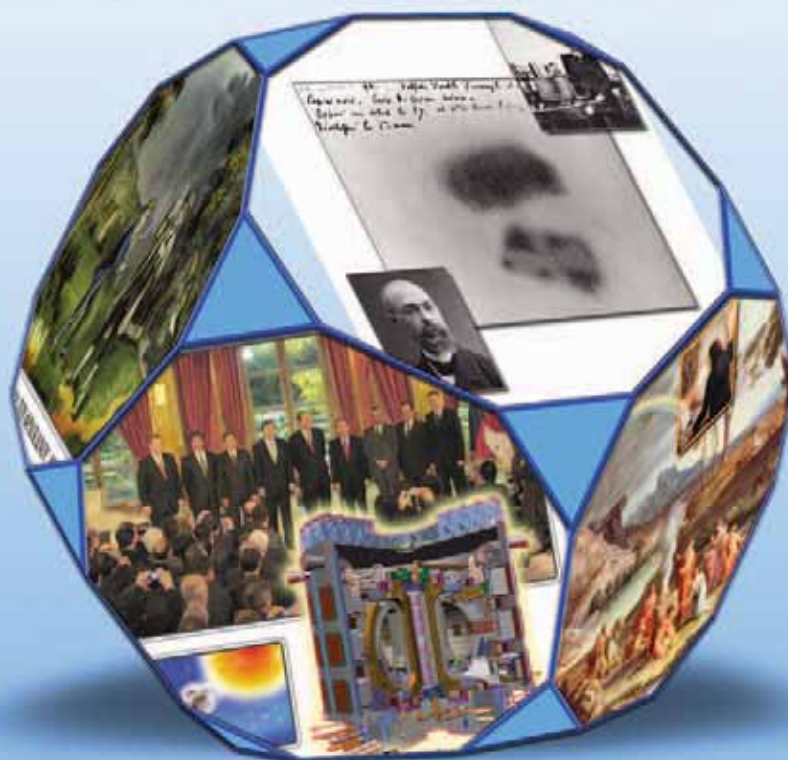
# ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

## ΠΥΡΗΝΑΣ

### Ενότητα 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : Ο ατομικός πυρήνας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 : Πυρηνικές αντιδράσεις



Από πού προέρχεται η θερμική ενέργεια μιας φυσικής θερμής πηγής ή ενός θερμοπίδακα; Γιατί το υλικό που εκτοξεύεται στις εκρήξεις των ηφαιστειών είναι σε διάπυρη κατάσταση;

Τα φαινόμενα αυτά δείχνουν ότι στο εσωτερικό της Γης, σε μεγάλο βάθος υπάρχει μια μεγάλη πηγή θερμικής ενέργειας. Ένα μεγάλο μέρος της θερμικής ενέργειας του εσωτερικού της Γης οφείλεται σε διεργασίες που συμβαίνουν στους πυρήνες των ατόμων ορισμένων στοιχείων. Πρόκειται για την πυρηνική ενέργεια ή ραδιενέργεια (radio energy) που απελευθερώνουν τα ραδιενεργά ορυκτά που υπάρχουν στα έγκυατα, βαθιά στο εσωτερικό της Γης.

Από πού προέρχεται η τεράστια ενέργεια που εκπέμπει ο Ήλιος;

Το μυστικό της ηλιακής ενέργειας βρίσκεται, και αυτό, κρυμμένο βαθιά στο εσωτερικό της ύλης: στον πυρήνα των ατόμων.

Στην παρούσα ενότητα θα μάθουμε να εξηγούμε όλα αυτά τα φαινόμενα.

Διεισδύουμε στο εσωτερικό του ατόμου, γνωρίζουμε τα σωματίδια που το απαρτίζουν και τον τρόπο που αλληλεπιδρούν.

Περιγράφουμε το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης, δηλαδή τις μεταβολές που συμβαίνουν στον ατομικό πυρήνα όταν διασπάται, καθώς και το φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης δηλαδή τη διαδικασία της συνένωσης δύο πυρήνων.

Τέλος συζητάμε πώς ο άνθρωπος κατάφερε να αξιοποιήσει τη γνώση του για την πυρηνική σχάση και σύντηξη σε θαυμαστές τεχνολογικές εφαρμογές, που οφείλουν να αποσκοπούν στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου κάθε πολίτη.



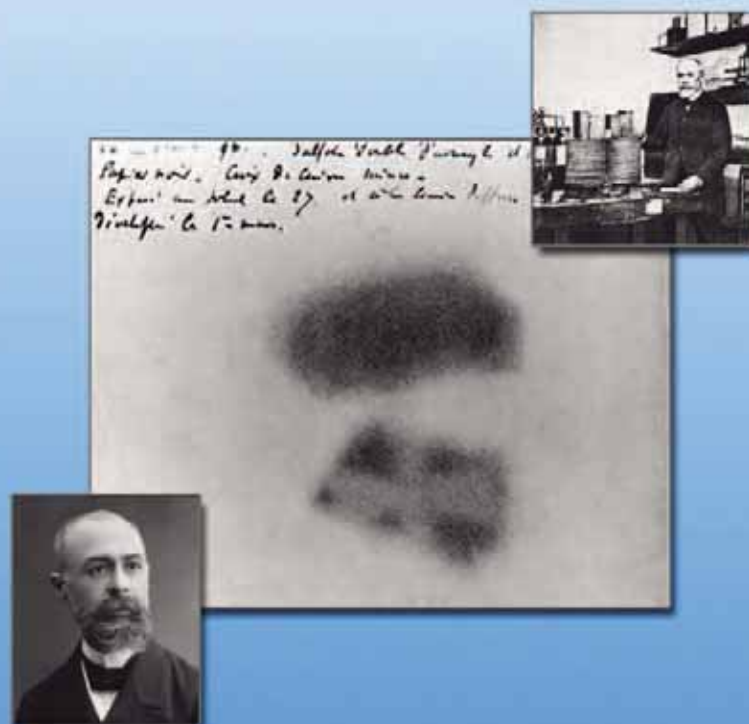
## ο μια μικρή ιστορία

Ο συννεφιασμένος Παρισινός ουρανός σύμμαχος σε μια σημαντική Επιστημονική ανακάλυψη. Το Φεβρουάριο του 1896 ο Ανρί Μπακαρέλ καθηγητής στην περίφημη Πολυτεχνική Σχολή του Παρισιού πειραματίζονταν σχετικά με τη φύση των ακτινοβολιών που εξέπεμπαν ορισμένες ενώσεις του στοιχείου ουρανίου όταν αυτές φωτιζόνταν από ηλιακό φως. Εξέθετε για αρκετή ώρα τις ουσίες στο ηλιακό φως και στη συνέχεια μετρούσε τα αποτελέσματα των ακτινοβολιών, από το πόσο έντονα αυτές αμαύρωναν μια φωτογραφική πλάκα. Πίστευε ότι το ουράνιο ακτινοβολούσε λόγω φθορισμού, που προκαλούσε το ηλιακό φως.

Την τελευταία εβδομάδα του μήνα ο Ήλιος είχε κρυφτεί πίσω από βαριά σύννεφα και ο Μπακαρέλ σταμάτησε τα πειράματα. Έβαλε το φιλμ μαζί με τις ενώσεις ουρανίου σ' ένα σκοτεινό συρτάρι και περίμενε να ξαναβγεί ο Ήλιος. Επειδή η συννεφιά συνεχιζόταν, προς το τέλος του μήνα, απογοητευμένος, αποφάσισε να εμφανίσει το φιλμ.

Παρίμενε να δει μια πολύ αμυδρή εικόνα. Προς μεγάλη του έκπληξη παρατήρησε ότι το φιλμ είχε αμαυρωθεί έντονα. Συμπέρανε ότι το ουράνιο ακόμη και στο σκοτάδι εξέπεμπε μια άγνωστη ακτινοβολία.

Για πρώτη φορά στην Ιστορία, ο Μπακαρέλ είχε παρατηρήσει τα αποτελέσματα της ραδιενέργειας.



Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις ποια σωματίδια αποτελούν τον πυρήνα των ατόμων και θα γνωρίσεις τα χαρακτηριστικά τους.
- Θα γνωρίσεις πώς αλληλεπιδρούν τα σωματίδια του πυρήνα ενός ατόμου, καθώς και για το φαινόμενο της ραδιενέργειας και τα είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας.
- Θα ενημερωθείς για τη βιολογική δράση της ραδιενεργού ακτινοβολίας και πώς προστατευόμαστε από αυτή.

# Ο ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ

## ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ: Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΓΙΓΑΝΤΑΣ

Οι επιστήμονες ήδη από τα μέσα του 19ου αιώνα αντιμετώπιζαν το ερώτημα: Ποια είναι η προέλευση της ηλιακής ενέργειας; Η απάντηση ήλθε πολύ αργότερα όταν μέσω του πειράματος διεύθυναν στο εσωτερικό του ατόμου και ανακάλυψαν τον πυρήνα του ατόμου και τη δομή του (Εικόνα 10.1).

Έτσι έδωσαν απάντηση στο ερώτημα γιατί ο Ήλιος και τα αστέρια λάμπουν στον ουρανό.

### 10.1

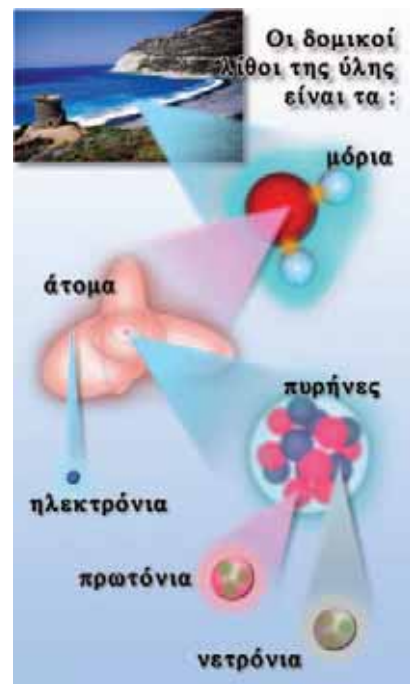
### Περιγραφή του πυρήνα

Το 1911 ο Ράδερφορντ (Rutherford) και οι συνεργάτες του πραγματοποιώντας μια σειρά από πειράματα στο εργαστήριο του πανεπιστημίου του Μάντσεστερ στην Αγγλία κατάφεραν να αποκαλύψουν την ύπαρξη του **πυρήνα** στα άτομα. Αναλύοντας τα αποτελέσματα των πειραμάτων κατέληξαν στα συμπεράσματα ότι ο πυρήνας του ατόμου: α) αν θεωρηθεί σφαιρικός, έχει ακτίνα 10.000 φορές μικρότερη από αυτή του ατόμου β) έχει θετικό ηλεκτρικό φορτίο και γ) έχει το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου.

Το ελαφρύτερο από τα άτομα είναι του υδρογόνου. Στον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου δόθηκε το όνομα **πρωτόνιο**. Επειδή ο πυρήνας είναι θετικά φορτισμένος, και το πρωτόνιο πρέπει να έχει θετικό φορτίο. Γνωρίζουμε ότι τα άτομα, άρα και το άτομο του υδρογόνου, είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Συνεπώς το φορτίο του πρωτονίου είναι αντίθετο με το φορτίο του ηλεκτρονίου (στοιχειώδες φορτίο). Η μάζα του πρωτονίου είναι περίπου 2.000 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.

Γενικότερα σε ένα ουδέτερο άτομο ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων. Αυτός ο αριθμός, που συμβολίζεται με **Z**, ονομάζεται **ατομικός αριθμός** (Εικόνα 10.2). Ο ατομικός αριθμός καθορίζει το χημικό στοιχείο στο οποίο ανήκει το άτομο. Όλα τα άτομα ενός ορισμένου στοιχείου έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό (Z), δηλαδή περιέχουν το ίδιο αριθμό πρωτονίων. Έτσι τα άτομα του άνθρακα με  $Z=6$  περιέχουν πάντα 6 πρωτόνια, ενώ του οξυγόνου με  $Z=8$  περιέχουν 8 πρωτόνια.

Ο Ράδερφορντ παρατήρησε ότι η μάζα του πυρήνα του ατόμου του άνθρακα ήταν ίση με τη μάζα όχι 6 αλλά 12 πρωτονίων. Για να ερμηνεύσει την παραπάνω παρατήρηση, υπέθεσε ότι ο πυρήνας εκτός από πρωτόνια αποτελείται και από ουδέτερα σωματίδια με μάζα σχεδόν ίση με τη μάζα του πρωτονίου. Το 1932 ο Τσά-

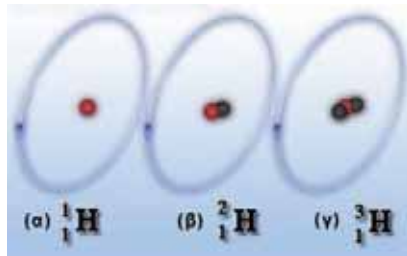


Εικόνα 10.1  
Οι δομικοί λίθοι της ύλης.



Εικόνα 10.2  
Το άτομο του ηλίου όπως το φαντάστηκε ο Ράδερφορντ. Ο πυρήνας του στοιχείου ηλίου αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια.

ντγουικ (Chadwick), ένας μαθητής του Ράδεφορντ, ανακάλυψε ένα τέτοιο σωματίδιο που το ονόμασε **νετρόνιο**, δηλαδή ουδετερόνιο (εικόνα 10.2). Επειδή τα νετρόνια είναι ουδέτερα, ο αριθμός τους δεν επηρεάζει τον αριθμό των ηλεκτρονίων του ατόμου.



Εικόνα 10.3

Τα τρία ισότοπα του υδρογόνου: (α) πρώτιο  $^1_1\text{H}$ , (β) δευτέριο  $^2_1\text{H}$  (γ) τρίτιο  $^3_1\text{H}$ .

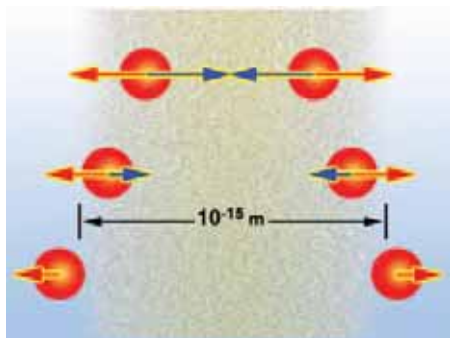
**Φυσική και Ιστορία**



Εικόνα 10.4

**Χιντέκι Γιουκάβα (Yukawa Hideki, 1907-1981)**

Σπούδασε Φυσική στην Ιαπωνία και σε ηλικία 22 ετών έγινε καθηγητής στο πανεπιστήμιο του Κιότο. Ο Γιουκάβα είναι ο πρώτος Ιάπωνας επιστήμονας που πήγε στις ΗΠΑ μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου και έγινε καθηγητής της Θεωρητικής Φυσικής στο πανεπιστήμιο Κολούμπια. Είναι ο πρώτος Ιάπωνας φυσικός που τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1949.



Εικόνα 10.5

**Η εμβέλεια της πυρηνικής δύναμης**

Τα πρωτόνια αλληλεπιδρούν: (α) με ηλεκτρικές δυνάμεις (απωστικές), (β) με ισχυρές πυρηνικές (ελκτικές). Σε απόσταση μεγαλύτερη από  $10^{-15}\text{ m}$  η ισχυρή πυρηνική δύναμη σχεδόν μηδενίζεται.

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται με μια λέξη **νουκλεόνια**. Ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων ενός πυρήνα ονομάζεται **μαζικός αριθμός** και συμβολίζεται με **A** (εικόνα 10.2). Στοιχεία με ατομικό αριθμό μέχρι 20 έχουν σχεδόν όλα ίσους αριθμούς πρωτονίων και νετρονίων. Όμως τα βαρύτερα στοιχεία έχουν περισσότερα νετρόνια απ' ό,τι πρωτόνια. Τα άτομα που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (ατομικό αριθμό) αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων (άρα μαζικό αριθμό) ονομάζονται **ισότοπα**.

Τα ισότοπα συμβολίζονται με  $^A_Z\text{X}$ , όπου Σ το σύμβολο του στοιχείου. Το υδρογόνο έχει τρία ισότοπα (εικόνα 10.3), το χλώριο δύο με σύμβολα  $^{35}_{17}\text{Cl}$  και  $^{37}_{17}\text{Cl}$ , ενώ στο γήινο φλοιό υπάρχουν τρία ισότοπα του ουρανίου με πιο κοινό το  $^{238}_{92}\text{U}$ . Από τα 83 στοιχεία που υπάρχουν στη Γη σε αξιόλογη ποσότητα, μόνο τα 20 έχουν μια μόνο σταθερή μορφή. Τα υπόλοιπα έχουν από δύο έως δέκα σταθερά ισότοπα. Αν λάβουμε υπόψη όλα τα ισότοπα, τότε ο αριθμός των διαφορετικών πυρήνων ανέρχεται περίπου σε 2.500. Όλα τα ισότοπα ενός στοιχείου αποτελούνται από άτομα που ο πυρήνας τους έχει τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και άρα τα άτομά τους περιέχουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων. Επειδή οι χημικές ιδιότητες ενός στοιχείου καθορίζονται από τον αριθμό των ηλεκτρονίων των ατόμων του, δηλαδή τον ατομικό αριθμό, όλα τα ισότοπα ενός στοιχείου έχουν τις ίδιες χημικές ιδιότητες. Έχουν όμως διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, όπως πυκνότητα, σημείο τήξης, σημείο βρασμού κ.λπ.

Είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο ότι τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια του ατόμου συγκρατούνται σε αυτό από τις ελκτικές ηλεκτρικές δυνάμεις που τους ασκεί ο θετικά φορτισμένος πυρήνας.

*Όμως ποιες δυνάμεις συγκρατούν τα συστατικά του πυρήνα;*

Ο πυρήνας αποτελείται από θετικά φορτισμένα πρωτόνια και από ουδέτερα νετρόνια. Μεταξύ των πρωτονίων ασκούνται ισχυρές απωστικές δυνάμεις.

*Πού οφείλεται λοιπόν η σταθερότητα των πυρήνων; Γιατί τα πρωτόνια δεν εκσφενδονίζονται μακριά το ένα από το άλλο;*

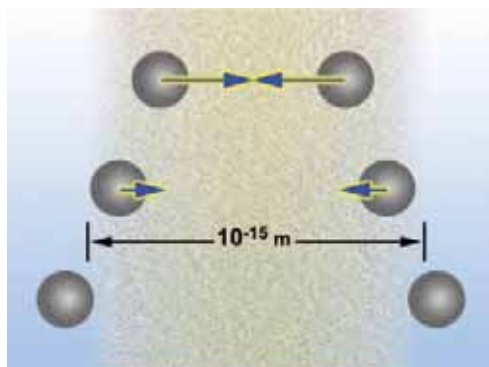
Το 1935 ο Ιάπωνας φυσικός Γιουκάβα (εικόνα 10.4) για να ερμηνεύσει το σχηματισμό των πυρήνων, πρότεινε την ύπαρξη μιας άγνωστης μέχρι τότε δύναμης. Η δύναμη αυτή, ασκείται μέσα στον πυρήνα και είναι ισχυρότερα ελκτική ώστε να υπερνική την άπωση μεταξύ των πρωτονίων (εικόνα 10.5). Αυτή η δύναμη ονομάζεται **ισχυρή πυρηνική δύναμη**. Η ισχυρή πυρηνική δύναμη ή ισχυρή αλληλεπίδραση είναι πολύ μικρής εμβέλειας, δηλαδή ασκείται



μόνο μεταξύ νουκλεονίων που η απόστασή τους είναι μικρότερη από  $10^{-15}$  m (εικόνα 10.6, 10.7). Γι' αυτό το λόγο οι πυρήνες έχουν πάρα πολύ μικρό μέγεθος. Η πυρηνική δύναμη ασκείται μόνο μεταξύ γειτονικών πρωτονίων και νετρονίων, είναι ελκτική και εξίσου ισχυρή για τα ζεύγη πρωτονίου-πρωτονίου, πρωτονίου-νετρονίου και νετρονίου-νετρονίου. Εξαιτίας αυτής της ισοδυναμίας τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται με μια λέξη νουκλεόνια.

*Γιατί είναι αναγκαία η ύπαρξη των νετρονίων για το σχηματισμό ενός πυρήνα;*

Τα πρωτόνια όταν βρίσκονται πολύ κοντά έχουν πολύ μεγάλες κινητικές ενέργειες με αποτέλεσμα να απομακρύνονται μεταξύ τους. Όσο όμως αυξάνεται η απόσταση των πρωτονίων η ισχυρή πυρηνική δύναμη εξασθενεί και η απωστική ηλεκτρική δύναμη υπερिशύχει. Αν όμως μεταξύ των πρωτονίων μεσολαβούν νετρόνια, τότε μεταξύ πρωτονίων-νετρονίων αναπτύσσονται μόνο οι ελκτικές ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις (εικόνα 10.7) και έτσι τα νετρόνια λειτουργούν ως «κόλλα» που διατηρεί τα πρωτόνια σε κοντινή απόσταση. Όσο περισσότερα πρωτόνια υπάρχουν σε ένα πυρήνα, τόσο περισσότερα νετρόνια απαιτούνται για να συγκρατηθούν ενωμένα. Γι' αυτό και στους βαρύτερους πυρήνες υπάρχουν περισσότερα νετρόνια από πρωτόνια.



Εικόνα 10.6

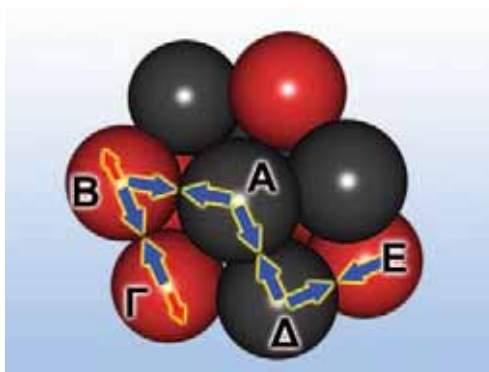
Η εμβέλεια της πυρηνικής δύναμης

Τα νετρόνια αλληλεπιδρούν μόνο με ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις (ελκτικές).

Εικόνα 10.7 ▶

Νετρόνια: η κόλλα του πυρήνα

Το πρωτόνιο Β και το νετρόνιο Α βρίσκονται πολύ κοντά. Έλκονται με ισχυρή πυρηνική δύναμη. Τα νετρόνια Α και Δ είναι κοντά και έλκονται με ισχυρή πυρηνική δύναμη. Το πρωτόνιο Ε και το νετρόνιο Δ βρίσκονται πολύ κοντά και έλκονται με ισχυρή πυρηνική δύναμη. Τελικά τα νετρόνια λειτουργούν ως «κόλλα» η οποία συγκρατεί τα μακρινά πρωτόνια Β και Ε στον πυρήνα.



## 10.2

### Ραδιενέργεια

Το 1896 ο Γάλλος φυσικός Μπεκερέλ (Becquerel) ανακάλυψε ότι μερικά στοιχεία, όπως το ουράνιο, εξέπεμπαν αυθόρμητα κάποιες «ακτίνες» οι οποίες αμαύρωναν τις φωτογραφικές πλάκες. Η έρευνα συνεχίστηκε από το Ράδερφορντ και τους Πιέρ και Μαρία Κιουρί (Curie) (εικόνα 10.8) οι οποίοι ανακάλυψαν δύο νέα στοιχεία που εξέπεμπαν παρόμοιες ακτίνες, το πολώνιο και το ράδιο.

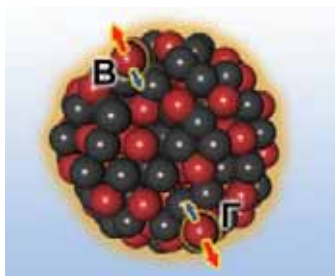
*Ποια ήταν η φύση και η προέλευση των νέων «ακτίνων»;*

Οι ερευνητές μετά από προσεκτικές παρατηρήσεις κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι ακτίνες αυτές προέρχονταν από ενεργειακές μεταβολές που συνέβαιναν στον πυρήνα ορισμένων ατόμων. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν στοιχεία των οποίων οι πυρήνες διασπώνται αυθόρμητα. Τα στοιχεία αυτά λέγονται **ραδιενεργά** στοιχεία και το φαινόμενο ονομάζεται **ραδιενεργός διάσπαση**. Όλα τα στοιχεία που είναι «βαρύτερα» από το μόλυβδο (ατομικός αριθμός 82) είναι ραδιενεργά.



Εικόνα 10.8

Ο Πιέρ και η Μαρία Κιουρί στο εργαστήριό τους στο Παρίσι.

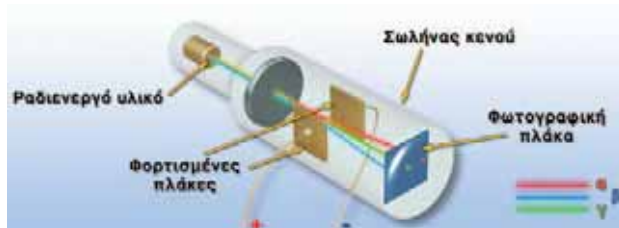


Εικόνα 10.9

Οι μεγάλοι πυρήνες είναι ασταθείς και διασπώνται ευκολότερα.

Εικόνα 10.10 ▶

Οι ακτινοβολίες α, β, γ συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο όταν διέρχονται μέσα από ηλεκτρικό πεδίο. Η ακτινοβολία α έλκεται από μια αρνητικά φορτισμένη πλάκα, η β έλκεται από μια θετικά φορτισμένη, ενώ στη γ δεν ασκείται καμία ηλεκτρική δύναμη.



### Ακτινοβολίες α, β, γ

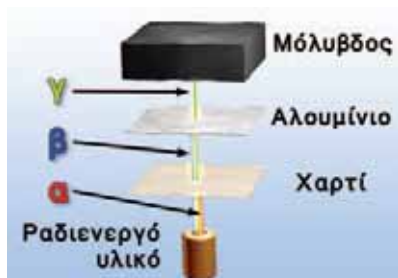
Τα ραδιενεργά στοιχεία εκπέμπουν τρία διαφορετικά είδη ακτινοβολιών που πήραν τα ονόματά τους από τα τρία πρώτα γράμματα της ελληνικής αλφαβήτου α, β και γ. Με βάση τον τρόπο που κινούνται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο προσδιορίστηκε η φύση τους (εικόνα 10.10).



Εικόνα 10.11

Τα τρία είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας.

Έτσι προέκυψε ότι η ακτινοβολία α είναι θετικά φορτισμένα σωματίδια και μάλιστα πυρήνες ηλίου  ${}^4_2\text{He}$ , ενώ η β είναι αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια. Τέλος η γ είναι φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας, δηλαδή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως το ορατό φως (εικόνα 10.11).



Εικόνα 10.12

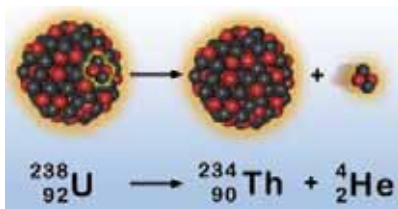
Ένα λεπτό φύλλο χαρτί είναι αρκετό για να σταματήσει την ακτινοβολία α. Για να απορροφηθεί η ακτινοβολία β χρειάζεται ένα λεπτό φύλλο μετάλλου. Οι ακτίνες γ μπορούν να διαπερνούν διάφορα υλικά ακόμα και μεγάλου πάχους. Για να τις σταματήσουμε χρησιμοποιούμε στρώματα μολύβδου μεγάλου πάχους.

### Διεισδυτικότητα των ραδιενεργών ακτινοβολιών

Οι ακτινοβολίες α, β, γ διεισδύουν σε διαφορετικό βαθμό στο εσωτερικό της ύλης (εικόνα 10.12). Ένα σωματίο α είναι εύκολο να σταματήσει γιατί έχει σχετικά μεγάλη μάζα και σχετικά μικρή ταχύτητα. Επιπλέον έχει το διπλάσιο του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου οπότε αλληλεπιδρά ηλεκτρικά έντονα με την ύλη.

Ένα σωματίο β έχει πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα που πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός και αρνητικό φορτίο ίσο με το φορτίο του ηλεκτρονίου. Συνεπώς σταματά πιο δύσκολα κυρίως λόγω συγκρούσεων με άλλα ηλεκτρόνια.

Η ακτινοβολία γ είναι η πιο διεισδυτική από τις τρεις, γιατί τα φωτόνια δεν έχουν φορτίο και μπορούν να απορροφηθούν μόνο από ένα ηλεκτρόνιο ή έναν πυρήνα. Απορροφάται κυρίως από στοιχεία μεγάλου ατομικού αριθμού όπως ο μόλυβδος.



Εικόνα 10.13

### Διάσπαση α - εκπομπή σωματιδίου α

Ο πυρήνας του ουρανίου  ${}^{238}_{92}\text{U}$  εκπέμπει ένα σωματίο α και μετατρέπεται σε πυρήνα θορίου  ${}^{234}_{90}\text{Th}$ .

### Διάσπαση α

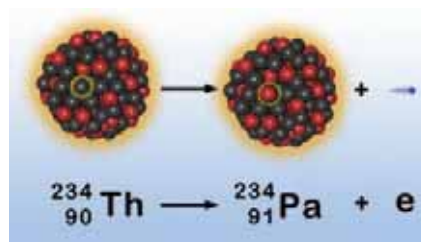
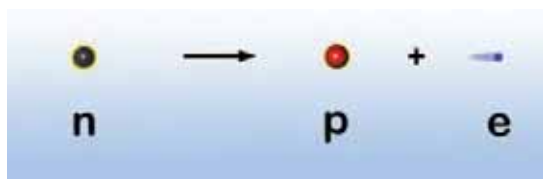
Κάποιοι πυρήνες (μητρικοί) μετατρέπονται σε νέους πυρήνες (θυγατρικοί) εκπέμποντας σωματίδια α. Μια τέτοια διάσπαση ονομάζεται διάσπαση α. Επειδή τα σωματίδια α περιέχουν πρωτόνια και νετρόνια, ο θυγατρικός πυρήνας θα έχει μάζα και φορτίο διαφορετικό από εκείνο του μητρικού πυρήνα. Ο ατομικός του αριθμός (Z) θα είναι μικρότερος κατά δύο μονάδες, ενώ ο μαζικός αριθμός (A) κατά τέσσερις (εικόνα 10.13).

### Διάσπαση β

Κατά τη διάσπαση β από το μητρικό πυρήνα εκπέμπονται σωματίδια β. Τα σωματίδια β είναι ηλεκτρόνια και επομένως ο θυγατρικός πυρήνας θα έχει σχεδόν την ίδια μάζα αλλά διαφορετικό φορτίο από το μητρικό (εικόνα 10.14).

Πώς όμως εκπέμπονται ηλεκτρόνια από τον πυρήνα, αφού ο πυρήνας δεν περιέχει ηλεκτρόνια;

Μέσα στον πυρήνα ένα νετρόνιο μετασχηματίζεται σε ένα πρωτόνιο εκπέμποντας ένα ηλεκτρόνιο (εικόνα 10.15). Έτσι ο ατομικός αριθμός (Z) αυξάνεται κατά μια μονάδα, ενώ ο μαζικός αριθμός (A) διατηρείται σταθερός (εικόνα 10.14).



Εικόνα 10.14

#### Διάσπαση β - εκπομπή σωματιδίου β

Ο πυρήνας του θορίου  $^{234}_{90}\text{Th}$  εκπέμπει ένα σωματίδιο β και μετατρέπεται σε πυρήνα πρωτακτίου  $^{234}_{91}\text{Pa}$ .

Εικόνα 10.15

#### Ερμηνεία της διάσπασης β

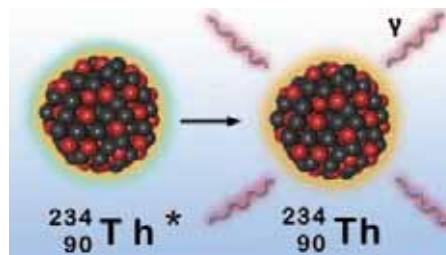
Ένα νετρόνιο του πυρήνα μετατρέπεται σε πρωτόνιο και ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο διαφεύγει με πολύ μεγάλη ταχύτητα από τον πυρήνα με μορφή ακτινοβολίας β.

Και τις διασπάσεις α και β ο αρχικός πυρήνας μετατρέπεται σε πυρήνα άλλου στοιχείου ή συμβαίνει όπως λέμε **μεταστοιχείωση**.

### Διάσπαση γ

Πώς παράγεται η ακτινοβολία γ κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών πυρήνων;

Μετά από μια διάσπαση α ή β μερικές φορές ο θυγατρικός πυρήνας περικλείει ενέργεια περισσότερη απ' αυτή που αντιστοιχεί στη σταθερή του κατάσταση (θεμελιώδη) ή όπως λέμε βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση. Στη συνέχεια εκπέμπει την επιπλέον ενέργεια με μορφή ενός φωτονίου μεγάλης ενέργειας που ονομάζεται φωτόνιο ακτινοβολίας γ και μεταπίπτει στη θεμελιώδη κατάσταση (εικόνα 10.16).



Εικόνα 10.16

Ο διεγερμένος πυρήνας εκπέμπει ενέργεια με μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας).

### Ανιχνευτές ραδιενεργών ακτινοβολιών

Τα φωτογραφικά φιλμ αμαυρώνονται όταν πέφτουν επάνω τους σωματίδια α ή β ή ακτίνες γ, επομένως είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αυτών των σωματιδίων και των ακτίνων. Εκτός από τα φιλμ και πολλές άλλες συσκευές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση φορτισμένων σωματιδίων και ακτίνων γ. Η λειτουργία των περισσότερων βασίζεται στον ιονισμό της ύλης όταν αυτή βομβαρδίζεται από σωματίδια μεγάλης ταχύτητας ή φωτόνια μεγάλης ενέργειας. Όταν ένα ουδέτερο άτομο συγκρουστεί με ένα σωματίδιο μεγάλης ενέργειας, τότε είναι δυνατόν κάποια ηλεκτρόνια του ατόμου να απορροφήσουν ενέργεια από τα σωματίδια και να απομακρυνθούν από το άτομο. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα τα οποία μπορούν να ανιχνευτούν με κατάλληλη διάταξη. Ο πιο κοινός τύπος ανιχνευτή ραδιενεργού ακτινοβολίας είναι ο μετρητής Γκάιγκερ (Geiger) (εικόνα 10.17).

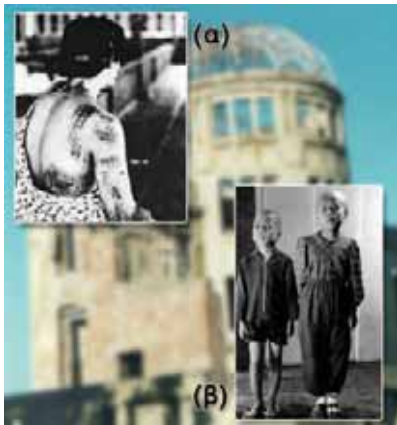


Εικόνα 10.17

Έλεγχος ραδιενεργού ακτινοβολίας σε εργαζόμενους σε πυρηνικό εργοστάσιο με ανιχνευτή Γκάιγκερ.



**Φυσική και Ιστορία**



**Εικόνα 10.18**

Φωτογραφίες επιπτώσεων από την ατομική βόμβα που ρίφθηκε στη Χιροσίμα στις 5 Αυγούστου 1945

(α) Η πλάτη μιας γυναίκας όπως έγινε από τα εγκαύματα που υπέστη από την έκρηξη της βόμβας ενώ βρισκόταν σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από τη θέση όπου εξερράγη. (β) Η εικόνα δύο παιδιών που έμειναν χωρίς μαλλιά λίγες ημέρες μετά την έκρηξη λόγω της ισχυρής ακτινοβολίας που δέχτηκαν.



**Εικόνα 10.19**

Διεθνές σύμβολο που δηλώνει την περιοχή υψηλής ραδιενεργού ακτινοβολίας.

**10.3 Βιολογική δράση της ακτινοβολίας**

Ο τρόπος με τον οποίο η ακτινοβολία επηρεάζει τους ζωντανούς οργανισμούς αναφέρεται ως **βιολογική δράση** της ακτινοβολίας.

Με τον όρο ακτινοβολία εννοούμε τόσο τις ραδιενεργές (α, β, γ), τα ταχέως κινούμενα πρωτόνια και νετρόνια όσο και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια μεγάλης ενέργειας), για παράδειγμα τις ακτίνες Χ. Τα σωματίδια ή τα φωτόνια από τα οποία αποτελούνται οι ακτινοβολίες μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Τα φωτόνια ή τα σωματίδια αυτά, καθώς διέρχονται μέσα από την ύλη, συγκρούονται με τους δομικούς της λίθους. Κατά τις συγκρούσεις αυτές ένα μέρος της ενέργειας της ακτινοβολίας μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια των ατόμων τα οποία απομακρύνονται από αυτά και έτσι δημιουργούνται ιόντα. Γι' αυτό αυτές τις ακτινοβολίες τις ονομάζουμε **ιονίζουσες** ακτινοβολίες.

**Κοσμική ακτινοβολία**

Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας στην οποία όλοι εκτιθέμεθα είναι η **κοσμική ακτινοβολία**, δηλαδή η προερχόμενη από το διάστημα (κυρίως από τον Ήλιο και τα υπόλοιπα άστρα) και η οποία διέρχεται από την ατμόσφαιρα. Αν και η ατμόσφαιρα δρα ως προστατευτική ασπίδα σταματώντας τα περισσότερα πρωτόνια ή τα σωματίδια α, κάποιες κοσμικές ακτίνες τη διαπερνούν και φθάνουν στην επιφάνεια της Γης. Σε μεγαλύτερα ύψη η ακτινοβολία αυτή είναι πιο έντονη. Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι το ανθρώπινο γένος εμφανίστηκε και εξελίχτηκε μέσα στο περιβάλλον αυτής της ακτινοβολίας, οπότε ο ανθρώπινος οργανισμός έχει προσαρμοστεί στην παραπάνω ακτινοβολία.

**Δραστηκότητα των ακτινοβολιών**

Οι ιστοί καταστρέφονται όταν δεχθούν πολύ μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας, όπως είναι η ηλιακή, οι ακτίνες Χ και όλες οι ραδιενεργές (εικόνα 10.18). Η έκθεση σε ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει σχετικά ήπιες καταστροφές, για παράδειγμα η υπερβολική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει έγκαυμα και σε θάνατο όταν προκληθεί μαζική καταστροφή των κυττάρων των ιστών ή μεταβολές του γενετικού υλικού. Το πόσο επικίνδυνη είναι μια ακτινοβολία εξαρτάται από το είδος της (πίνακας 10.1).

Όλοι οι άνθρωποι εκτίθενται σε ακτινοβολίες. Οι ακτινοβολίες προέρχονται είτε από φυσικές πηγές, όπως τα γήινα ορυκτά, το έδαφος και η κοσμική ακτινοβολία, είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως ιατρικές εφαρμογές (εικόνα 10.20).

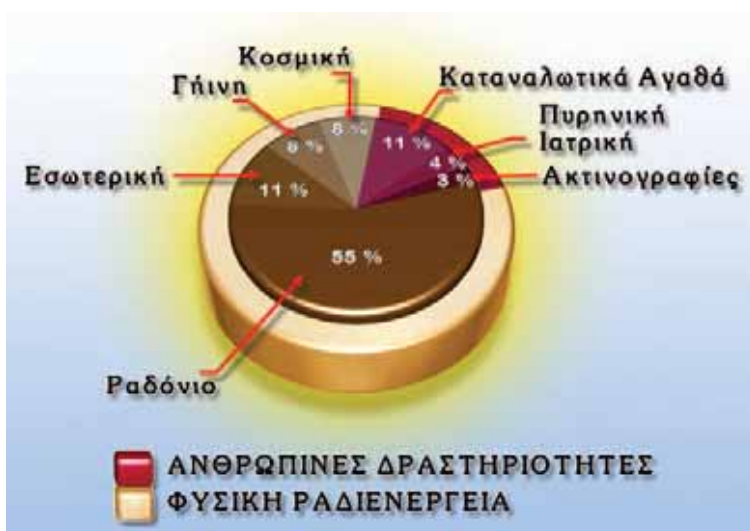
ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1	
Ακτινοβολία	Σχετική βιολογική δραστηκότητα
Ακτίνες Χ και γ	1
Ηλεκτρόνια	1,0–1,5
Βραδέα νετρόνια	3–5
Πρωτόνια	10
Σωματίδια α	20
Βαρέα ιόντα	20

Η δραστηκότητα των ακτινοβολιών σχετίζεται με την ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται από αυτές, καθώς και με το βαθμό απορρόφησης από τους ιστούς.



## Φυσική ραδιενέργεια

Η κύρια φυσική πηγή ραδιενέργειας είναι το ραδόνιο  $^{226}_{88}\text{Rn}$ , ένα άχρωμο αδρανές αέριο που προέρχεται από τη διάσπαση του ραδίου  $^{226}_{88}\text{Ra}$ . Το ράδιο βρίσκεται σε ελάχιστες ποσότητες σε όλα σχεδόν τα πετρώματα και το έδαφος. Καθώς διασπάται το ράδιο που βρίσκεται στο έδαφος, στα θεμέλια των οικοδομών, παράγεται το αέριο ραδόνιο. Το ραδόνιο, επειδή είναι αέριο, εύκολα διεισδύει στον αέρα του σπιτιού μας και γι' αυτό είναι επικίνδυνο. Πάντως ένας τακτικός αερισμός των χώρων της κατοικίας μειώνει την περιεκτικότητα του αέρα που αναπνέουμε σε ραδόνιο και έτσι μειώνει τον κίνδυνο.



Εικόνα 10.20

Συνεισφορές των διάφορων πηγών ραδιενέργειας.

## Δόσεις ακτινοβολίας

Το αποτέλεσμα της δράσης των ακτινοβολιών στον ανθρώπινο οργανισμό είναι αθροιστικό. Η βλάβη δηλαδή που παθαίνουμε αν εκτεθούμε σε ακτινοβολία δεν αποκαθίσταται, αλλά προστίθεται στις βλάβες που θα πάθουμε σε επόμενες εκθέσεις σε ακτινοβολίες. Τη **δόση** της ακτινοβολίας που παίρνουμε κάθε φορά τη μετράμε σε rem. Ένας μέσος άνθρωπος προσλαμβάνει περίπου 0,2 rem το χρόνο. Μια συνηθισμένη ακτινογραφία θώρακος δίνει περίπου 0,02 rem. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που προκαλεί άμεσο θανατηφόρο αποτέλεσμα είναι γύρω στα 500 rem. Έχει υπολογιστεί ότι η μέση εκπομπή ραδιενεργού ακτινοβολίας από όλα τα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας μικραίνει το μέσο όρο ζωής κατά 5 ημέρες, ενώ από το ραδόνιο κατά 40 περίπου ημέρες. Συγκριτικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το κάπνισμα ενός πακέτου τσιγάρων κάθε μέρα μικραίνει τη μέση διάρκεια ζωής κατά 6 χρόνια. Η αρνητική όμως επίδραση της ακτινοβολίας στον τοπικό πληθυσμό από τη χρήση πυρηνικών όπλων ή από κάποιο σοβαρό πυρηνικό ατύχημα είναι πολύ μεγαλύτερη (εικόνα 10.20).

Η ακτινοβολία γ είναι η πιο επικίνδυνη διότι έχει πολύ μεγάλη διεισδυτική ικανότητα. Λιγότερο επικίνδυνη είναι η ακτινοβολία β και ακόμα λιγότερο η α.

### Δραστηριότητα

#### Κοσμική ακτινοβολία

- ▶ Τοποθέτησε ένα μετρητή Γκάιγκερ στο θρανίο σου, μακριά από οποιαδήποτε ραδιενεργό πηγή.
- ▶ Θέσε σε λειτουργία το μετρητή και κατάγραψε τον αριθμό των απαριθμήσεων για χρονικό διάστημα τριών λεπτών.
- ▶ Τύλιξε ένα φύλλο χαρτί γύρω από το σωλήνα και επανάλαβε τις μετρήσεις.

Μειώνονται οι απαριθμήσεις;

Τι τύπος ακτινοβολίας φθάνει στον απαριθμητή; Αιτιολόγησέ το.

- ▶ Επανάλαβε τη διαδικασία περιβάλλοντας διαδοχικά το σωλήνα με φύλλα αλουμινίου πάχους 6 mm ή μολύβδου πάχους 5 cm.

Μειώνεται ο αριθμός των απαριθμήσεων;

Τι μπορείς να συμπεράνεις για το είδος της κοσμικής ακτινοβολίας;

## Ερωτήσεις

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

## ▶ Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

## Περιγραφή του πυρήνα

1. Συμπλήρωσε τις προτάσεις ώστε να είναι επιστημονικά ορθές:  
Ο πυρήνας έχει ακτίνα 10.000 φορές μικρότερη από αυτή του ....., έχει ..... ηλεκτρικό φορτίο και το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της ..... του ατόμου. Αποτελείται από ..... και ..... που ονομάζονται ..... Ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων ενός πυρήνα ονομάζεται ..... αριθμός και συμβολίζεται με ....., ενώ των πρωτονίων ..... και συμβολίζεται με ..... Στοιχεία που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται .....
2. Να επιλέξεις το γράμμα που αντιστοιχεί στην επιστημονικά ορθή πρόταση:
  - i. Το φυσικό μέγεθος A είναι: α) ο αριθμός των πρωτονίων, β) ο αριθμός των νετρονίων, γ) ο αριθμός των νετρονίων, δ) ο ατομικός αριθμός, ε) τίποτε από αυτά.
  - ii. Οι ισότοποι πυρήνες έχουν: α) ίδιες τιμές για το A και το Z, β) ίδιες τιμές για το A και διαφορετικές για το Z, γ) διαφορετικές τιμές για το A και ίδιες για το Z, δ) διαφορετικές τιμές για το A και το Z, ε) κανένα από τα παραπάνω.

## Ραδιενέργεια

3. Στο διπλανό πίνακα αντιστοίχισε τα είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας με τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται:
4. Ποια από τις ραδιενεργές ακτινοβολίες έχει την ίδια φύση με το ορατό φως;

1. ακτινοβολία α	α. ηλεκτρόνια
2. ακτινοβολία β	β. φωτόνια
3. ακτινοβολία γ	γ. πυρήνες ηλίου

## ▶ Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:

## Περιγραφή του πυρήνα

5. Πώς μεταβάλλεται ο ατομικός και ο μαζικός αριθμός ενός πυρήνα όταν εκπέμπει αντίστοιχα: i) ένα σωματίδιο α, ii) ένα σωματίδιο β, iii) μια ακτίνα γ;
6. Συχνά αναφέρεται ότι τα νετρόνια παίζουν το ρόλο της «κόλλας» μεταξύ των πρωτονίων. Μπορείς να εξηγήσεις γιατί;
7. Τα πρωτόνια έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο, ενώ τα νετρόνια είναι ουδέτερα. Γιατί συχνά τα ονομάζουμε νουκλεόνια χωρίς διάκριση;

## Ραδιενέργεια

8. Σ' ένα αλουμινένιο κουτί τοποθετείται ένα φωτογραφικό φιλμ. Δίπλα στο κουτί βρίσκεται μια ραδιενεργός πηγή. Μετά από μερικές μέρες παρατηρούμε ότι το φιλμ έχει αμαυρωθεί. Ποια νομίζεις ότι μπορεί να είναι η πιθανή αιτία; Η πηγή εκπέμπει: i) σωματίδια α, ii) σωματίδια β, iii) ακτίνες γ. Να δικαιολογήσεις την επιλογή σου.
9. Στη ραδιενεργό διάσπαση β εκπέμπονται από τον πυρήνα ηλεκτρόνια. Πώς συμβαίνει κάτι τέτοιο αφού ο πυρήνας δεν περιέχει ηλεκτρόνια;

## Ασκήσεις

## ασκησεις

1. Δύο ισότοπα του ουρανίου είναι το  ${}_{92}^{235}\text{U}$  και το  ${}_{92}^{238}\text{U}$ . Πόσα νετρόνια υπάρχουν στον πυρήνα καθενός;
2. Το στοιχείο υδρογόνο έχει σύμβολο H και ατομικό αριθμό 1. Γράψε τα σύμβολα των τριών ισotόπων του υδρογόνου με 0, 1 και 2 νετρόνια στον πυρήνα τους.
3. Ποιά είδη σωματιδίων και πόσα σωματίδια από κάθε είδος υπάρχουν σε ένα άτομο  ${}_{47}^{109}\text{Ag}$ ;
4. Το ραδιενεργό ισότοπο του μολύβδου  ${}_{82}^{214}\text{Pb}$  μετατρέπεται σε βισμούθιο Bi με εκπομπή ακτινοβολίας β. Να γράψεις το πλήρες σύμβολο του ισotόπου του βισμούθιου που προκύπτει.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Οι ατομικοί πυρήνες αποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια. Ο αριθμός των πρωτονίων ενός πυρήνα ονομάζεται ατομικός αριθμός Z. Ο συνολικός αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων ονομάζεται μαζικός αριθμός A. Άτομα με πυρήνες που έχουν ίδιο αριθμό πρωτονίων και διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται ισότοπα.
- Πρωτόνια και νετρόνια συγκρατούνται στον πυρήνα με την επίδραση της ισχυρής αλληλεπίδρασης.
- Ένας ασταθής πυρήνας διασπάται, οπότε μετατρέπεται σε πυρήνα ενός άλλου στοιχείου. Το φαινόμενο ονομάζεται ραδιενέργεια. Υπάρχουν τρία είδη ραδιενεργών διασπάσεων. Η διάσπαση α: ο πυρήνας που διασπάται εκπέμπει σωματία α (πυρήνες ηλίου). Η διάσπαση β: ο ραδιενεργός πυρήνας κατά τη διάσπασή του εκπέμπει σωματία β (ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας). Η διάσπαση γ: ο ραδιενεργός πυρήνας κατά τη διάσπασή του εκπέμπει ακτινοβολία γ (φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας).
- Οι ακτινοβολίες έχουν βιολογικές επιδράσεις που εξαρτώνται από το είδος και την ενέργεια της ακτινοβολίας.

### ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Πρωτόνιο, νετρόνιο  
Ατομικός αριθμός

Μαζικός αριθμός  
Ισότοπα

Ισχυρή αλληλεπίδραση  
Ραδιενέργεια

Ακτινοβολία α, β, γ