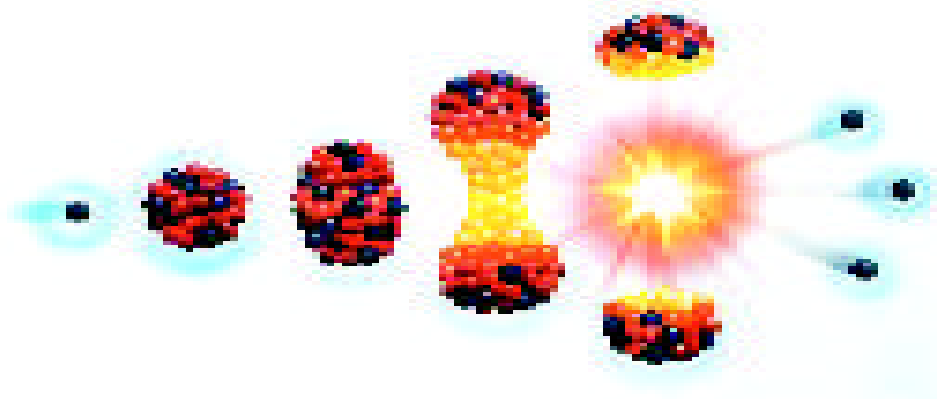


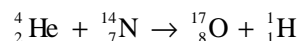
### 3.4 ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

Κατά το βομβαρδισμό πυρήνων - στόχων με κινούμενα σωματίδια συχνά παρατηρούνται νέοι πυρήνες μετά την κρούση. Τέτοιες κρούσεις ονομάζονται **πυρηνικές αντιδράσεις**.



3-24 Αναπαράσταση πυρηνικής αντίδρασης μετά από σύλληψη νετρονίου από πυρήνα.

Ο Rutherford ήταν ο πρώτος που παρατήρησε πυρηνικές αντιδράσεις κατά το βομβαρδισμό πυρήνων αζώτου με σωματίδια α. Η διαδικασία που συνέβη μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



Στις πυρηνικές αντιδράσεις ισχύουν οι νόμοι διατήρησης του φορτίου, της ορμής και της ενέργειας. Στην τελευταία συμπεριλαμβάνονται η κινητική ενέργεια και η ενέργεια που αντιστοιχεί στη μάζα ηρεμίας. **Ένας πρόσθετος νόμος διατήρησης είναι η διατήρηση του συνολικού αριθμού των νουκλεονίων.** Στην παραπάνω αντίδραση η διατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται από την εξισορρόπηση των μαζικών αριθμών στα δύο μέλη της αντίδρασης. Επίσης **η διατήρηση του φορτίου επιβάλλει να ισούται το άθροισμα των αρχικών ατομικών αριθμών με το άθροισμα των τελικών ατομικών αριθμών.**

Η διαφορά των μαζών ηρεμίας πριν και μετά την αντίδραση προσδιορίζει την ενέργεια  $Q$  της αντίδρασης, σύμφωνα με την ισοδυναμία μάζας και ενέργειας.

Έτσι στην αντίδραση  $A + B \rightarrow \Gamma + \Delta$  η ενέργεια  $Q$  της αντίδρασης ορίζεται ως:

$$Q = (M_A + M_B - M_\Gamma - M_\Delta)c^2 \quad (3.7)$$

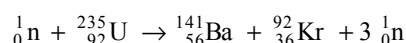
Όταν το  $Q$  είναι θετικό, η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη από αυτήν των αντιδρώντων, ενώ η κινητική ενέργεια των προϊόντων είναι μεγαλύτερη. Μια τέτοια αντίδραση ονομάζεται **εξώθερμη**.

Όταν το  $Q$  είναι αρνητικό, η μάζα των προϊόντων είναι μεγαλύτερη και η κινητική τους ενέργεια αντίστοιχα μικρότερη. Μια τέτοια αντίδραση ονομάζεται **ενδόθερμη**.

## Πυρηνική σχάση

Μια πολύ σημαντική κατηγορία πυρηνικών αντιδράσεων είναι εκείνη στην οποία συμβαίνει απορρόφηση νετρονίων από βαρείς πυρήνες. Ένα είδος τέτοιων αντιδράσεων είναι η πυρηνική σχάση, κατά την οποία ένας βαρύς πυρήνας (π.χ.  $^{235}_{92}\text{U}$ ) σχάζεται σε δύο μικρότερους πυρήνες. Σε μια τέτοια αντίδραση η ολική μάζα ηρεμίας των προϊόντων είναι μικρότερη από την αρχική μάζα ηρεμίας.

Η πρώτη πυρηνική σχάση παρατηρήθηκε το 1939 από τους Otto Hahn (Ότο Χαν) και Fritz Strassman (Φριτς Στράσμαν) μετά από βομβαρδισμό  $^{235}_{92}\text{U}$  με νετρόνια. Υπάρχουν περίπου 90 διαφορετικοί συνδυασμοί των δύο θυγατρικών πυρήνων που αποτελούν τα θραύσματα του πυρήνα ουρανίου. Ένας από αυτούς, που αποτελεί συνηθισμένη διαδικασία σχάσης, είναι και ο εξής:



Η αντίδραση αυτή είναι ισχυρά εξώθερμη και τα θραύσματα της σχάσης, καθώς και τα νετρόνια, έχουν μια υψηλή κινητική ενέργεια της τάξης των 200 MeV.

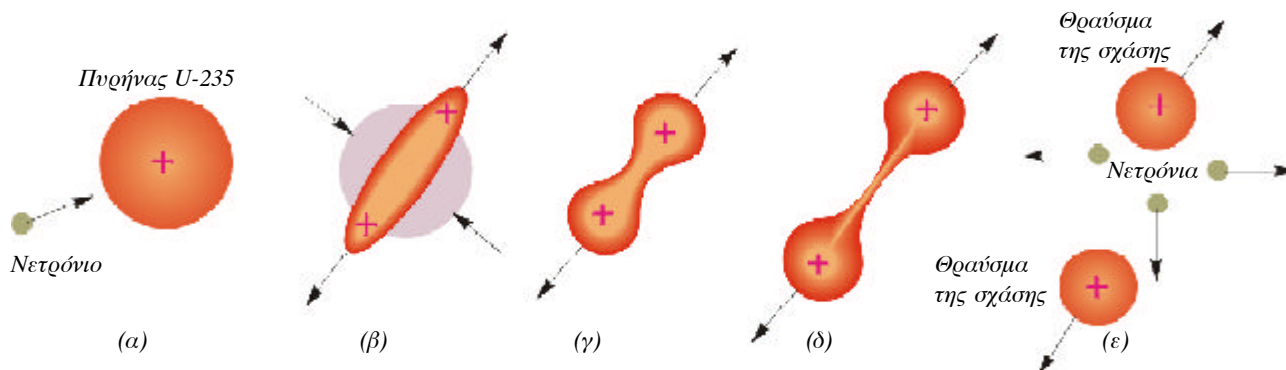
Μπορούμε να καταλάβουμε ποιοτικά το μηχανισμό της σχάσης, αν παρομοιάσουμε τον πυρήνα με μια σταγόνα σχεδόν σφαιρικού σχήματος. Καθώς ο πυρήνας συλλαμβάνει ένα νετρόνιο, με την πρόσθετη ενέργεια που παίρνει αρχίζει να ταλαντώνεται βίαια. Κατά τις ταλαντώσεις του αυτές παραμορφώνεται έντονα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε στο μέσον του να σχηματίζεται ένα στένωμα (λαμμός), που χωρίζει δύο λοβούς. Η ηλεκτρική άπωση μεταξύ των δύο λοβών τούς ωθεί σε αποκόλληση. Οι δύο λοβοί αποχωρίζονται και αποτελούν τα θραύσματα της σχάσης (σχήμα 3-26).

Τα νετρόνια που αποδεσμεύονται κατά τη σχάση ενός πυρήνα μπορούν στη συνέχεια να προκαλέσουν νέα σχάση σε άλλους πυρήνες και έτσι να έχουμε μια αλυσιδωτή αντίδραση. Αν η αλυσιδωτή αυτή αντίδραση δεν ελεγχθεί, δηλαδή δεν προχωρήσει αργά, τότε έχει ως αποτέλεσμα μια βίαιη έκρηξη και την απελευθέρωση ενός τεράστιου ποσού ενέργειας, ακόμη και από ένα γραμμάριο ουρανίου. Αυτή η **μη ελεγχόμενη σχάση αποτελεί την αρχή λειτουργίας της πρώτης πυρηνικής βόμβας**.

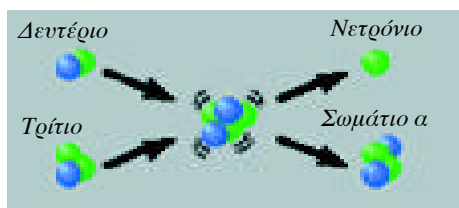
Αντίθετα, σε έναν αντιδραστήρα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος επιβραδύνονται με κατάλληλο μηχανισμό τα παραγόμενα νετρόνια, ώστε να διατηρούν μια αυτοσυντηρούμενη αλυσιδωτή αντίδραση, η οποία όμως θα προχωρεί αργά και ελεγχόμενη, χωρίς να οδηγεί σε έκρηξη.



3-25 Ο τέταρτος αντιδραστήρας στο Τσέρνομπιλ μέσα στη σαρκοφάγο του από τοιμέντο. Στο Τσέρνομπιλ το 1986 είχαμε το μεγαλύτερο πυρηνικό ατύχημα στην ανθρώπινη ιστορία.



3-26 Τα στάδια σε μια πυρηνική σχάση όπως περιγράφονται από το μοντέλο της υγρής σταγόνας για τον πυρήνα.

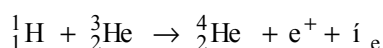
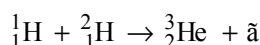
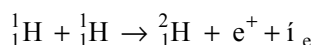


3-27 Η σύντηξη δευτερίου και τριτίου σχηματίζει πυρήνα He και ένα νετρόνιο.

## Πυρηνική σύντηξη

Στην ενότητα 3.1 είδαμε ότι η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο των ελαφρών πυρήνων είναι μικρότερη από την ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο των βαρύτερων. Η διαδικασία της συνένωσης δύο ελαφρών πυρήνων, για να σχηματίσουν ένα βαρύτερο, λέγεται **πυρηνική σύντηξη**.

Επειδή η μάζα ηρεμίας του τελικού πυρήνα είναι μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των αρχικών πυρήνων, υπάρχει μια απώλεια μάζας, η οποία συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της ενέργειας της τελικής κατάστασης. Τρία τέτοια παραδείγματα σύντηξης είναι τα παρακάτω:



Αυτή η σειρά των αντιδράσεων, που λέγεται κύκλος πρωτονίου - πρωτονίου, πιστεύεται ότι συμβαίνει στο εσωτερικό του Ήλιου αλλά και άλλων αστεριών, όπου αφθονεί το υδρογόνο, και από αυτήν προέρχεται η ενέργεια των άστρων.

Τα ποζιτρόνια που παράγονται στις αντιδράσεις αυτές συγκρούονται στο εσωτερικό του Ήλιου με ηλεκτρόνια, τα ζεύγη αυτά εξαυλώνονται και η ενέργειά τους μετατρέπεται σε ακτινοβολία γ.

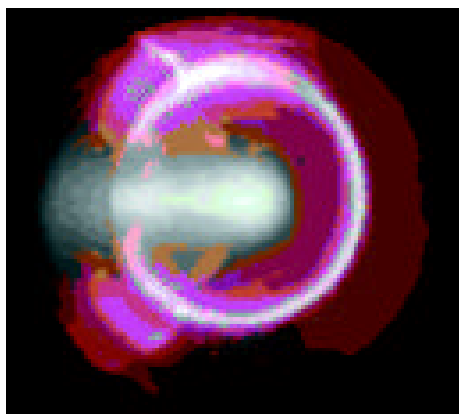
Επομένως ολόκληρος ο κύκλος και των τριών αντιδράσεων ισοδυναμεί τελικά με μία αντίδραση, όπου  $4{}_1^1\text{H}$  συντήκονται και δημιουργούν έναν πυρήνα  ${}_2^4\text{He}$ , ενώ ταυτόχρονα εκπέμπεται ακτινοβολία γ και νετρίνα.

Βλέπουμε ότι η ενέργεια του Ήλιου προέρχεται από το «πυρηνικό καύσιμο» υδρογόνο, καθώς αυτό μετατρέπεται βαθμιαία σε ήλιο. Αν υποθεθεί ότι η παραγωγή ενέργειας στον Ήλιο, καθώς και η ακτινοβολία του, θα συνεχιστούν με τους ίδιους ρυθμούς, εκτιμάται ότι ο Ήλιος θα εξαντλήσει το απόθεμα του υδρογόνου του σε 30 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου.

Για να συμβεί σύντηξη μεταξύ δύο πυρήνων, πρέπει να προσεγγίσουν αρκετά μεταξύ τους, ώστε να υπερνικηθεί η ηλεκτρική άπωση και να επικρατήσει η ισχυρή πυρηνική δύναμη. Για να συμβεί αυτό, πρέπει οι πυρήνες να αποκτήσουν πολύ υψηλή κινητική ενέργεια της τάξης των 0,7 MeV. Τόσο μεγάλη όμως κινητική ενέργεια μόνο σε εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία μπορεί να αποκτηθεί από έναν πυρήνα.

Η θερμοκρασία, για να προκληθεί αντίδραση σύντηξης, είναι της τάξης των  $10^8\text{K}$ . Στις θερμοκρασίες αυτές τα άτομα έχουν πια ιονισθεί τελείως, δηλαδή έχουν χάσει τα ηλεκτρόνιά τους, και η ιονισμένη αυτή κατάσταση, όπου έχουμε μόνο ηλεκτρόνια και πυρήνες, λέγεται **πλάσμα**.

Τέτοιες θερμοκρασίες συναντάμε στη φύση μόνο στα άστρα. Οι υψηλές αυτές θερμοκρασίες δικαιολογούν την ονομασία **θερμοπυρηνικές αντιδράσεις** με την οποία χαρακτηρίζονται συχνά οι αντιδράσεις σύντηξης.



3-28 Στην προσπάθεια να επιτευχθεί ελεγχόμενη σύντηξη δοκιμάζεται η μέθοδος συγκράτησης του πλάσματος με μαγνητικό πεδίο.

Σε πολλά εργαστήρια στον κόσμο καταβάλλεται έντονη προσπάθεια κατασκευής θερμοπυρηνικού αντιδραστήρα, όπου θα γίνεται ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη. Δυστυχώς τόσο υψηλές θερμοκρασίες είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθούν και να συντηρηθούν για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να έχουμε πρακτικά αξιοποιήσιμη παραγωγή ενέργειας.

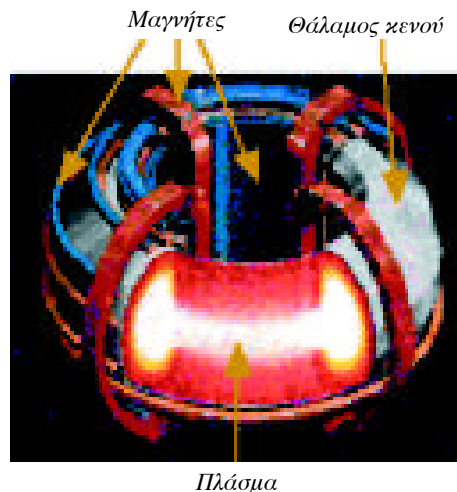
Αν πάντως επιτευχθεί αξιοποιήσιμη ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη, το ενεργειακό κέρδος για τον άνθρωπο θα είναι σημαντικό, αφού το «πυρηνικό καύσιμο» που προτείνεται είναι το δευτέριο, που υπάρχει άφθονο και φθηνό στο νερό των θαλασσών.

### Το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων

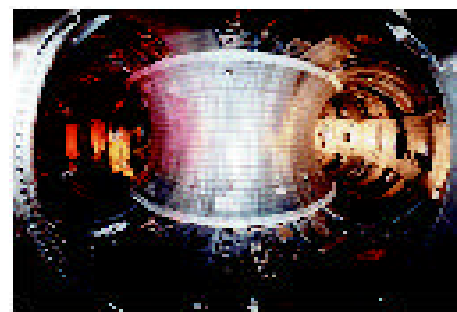
Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα, που συνοδεύουν τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων, είναι αυτό της διαχείρισης των αποβλήτων τους. Τα απόβλητα του αντιδραστήρα είναι τα ραδιενεργά υλικά που εμφανίζονται ως προϊόντα των αντιδράσεων, καθώς και τα μέταλλα της «καρδιάς» του αντιδραστήρα, όταν αυτή πρέπει να αντικατασταθεί. Αυτά τα υψηλής ραδιενέργειας υλικά περιέχουν ισότοπα με μεγάλους χρόνους ημιζωής και πρέπει να αποθηκευτούν για πολύ μεγάλη χρονική διάρκεια, ώστε να μην προκαλέσουν περιβαλλοντική μόλυνση.

Επί του παρόντος η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να τα τοποθετούμε σε καλά σφραγισμένα κιβώτια και να τα θάβουμε βαθιά σε ορυχεία.

Πάντως πρέπει να αναφερθεί ότι ένα ακόμη πλεονέκτημα των αντιδραστήρων σύντηξης, σε σχέση με τους αντιδραστήρες σχάσης, είναι τα λίγα ραδιενεργά κατάλοιπα που αφήνουν.



3-29 Σε έναν ερευνητικό αντιδραστήρα ΤΟΚΑΜΑΚ το ρεύμα που θερμαίνει το πλάσμα είναι αρκετά εκατομμύρια Ampere και η θερμοκρασία μεγαλύτερη από  $10^8\text{K}$ .



3-30 Τα ΤΟΚΑΜΑΚ αποτελούν την πιο επιτυχημένη προσπάθεια κατασκευής αντιδραστήρων σύντηξης.

## 3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΤΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### Α. Βλάβες από ακτινοβολία

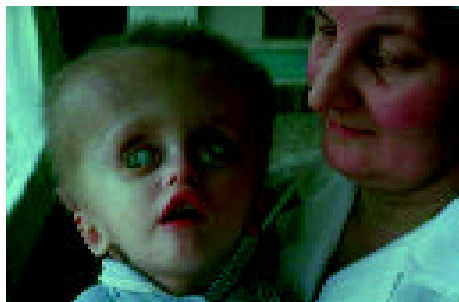
Όταν η ύλη απορροφά ακτινοβολία, μπορεί να υποστεί σοβαρές βλάβες. Το είδος και ο βαθμός των ζημιών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι το είδος και η ενέργεια της ακτινοβολίας, καθώς και οι ιδιότητες του υλικού που την απορροφά. Για παράδειγμα, μέταλλα που χρησιμοποιούνται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες εξασθενούν πολύ με το βομβαρδισμό τους από νετρόνια υψηλής ενέργειας. Η ζημιά εδώ οφείλεται σε μετακινήσεις των ατόμων μέσα στο μέταλλο, οι οποίες έχουν ως συνέπεια την αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων του μετάλλου.

Οι βλάβες από πυρηνικές ακτινοβολίες στους βιολογικούς οργανισμούς οφείλονται κυρίως στον ιονισμό που προκαλούν αυτές οι ακτινοβολίες σε ουσίες που βρίσκονται μέσα στα κύτταρα.

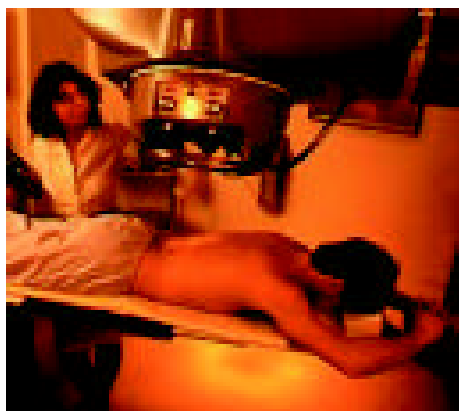
Στον όρο «ακτινοβολίες» περιλαμβάνονται: οι ραδιενεργές  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , τα νετρόνια, καθώς και η υψηλής ενέργειας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως π.χ. οι ακτίνες Χ. Στο σχηματισμό ιόντων οφείλεται και το όνομά τους ως **ιονίζουσες ακτινοβολίες**.



3-31 Άτομο που έχει εκτεθεί σε ακτινοβολίες έχει χάσει τα μαλλιά του.



3-32 Οι τρεις παραπάνω εικόνες δείχνουν τις παραμορφωτικές βλάβες σε απογόνους ατόμων που δέχτηκαν πυρηνικές ακτινοβολίες μετά το πυρηνικό ατύχημα του Τσέρνομπιλ.



3-33 Ακτινοβολία γ χρησιμοποιείται για καταστολή καρκινικών κυττάρων. Υψηλή δόση εστιάζεται σε μικρή περιοχή με τη βοήθεια σκόπευσης με laser.

Η λειτουργία των κυττάρων μπορεί να διαταραχθεί σοβαρά, όταν σχηματισθούν μέσα στο κύτταρο δραστικά ιόντα ή ρίζες ως αποτέλεσμα της ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, σχηματισμός ιόντων υδροξυλίου και υδρογόνου μπορεί να προκαλέσει χημικές αντιδράσεις διάσπασης δεσμών σε πρωτεΐνες και να επιφέρει αλλαγές στο γενετικό υλικό των κυττάρων (DNA). Μεγάλες ποσότητες ακτινοβολίας καταστρέφουν μεγάλο αριθμό μορίων σε ένα κύτταρο και προκαλούν το θάνατό του. Αν και ο θάνατος ενός κυττάρου δεν αποτελεί συνήθως πρόβλημα, ο θάνατος πολλών κυττάρων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μια μη αντιστρεπτή βλάβη του οργανισμού.

Είναι πιθανόν επίσης κύτταρα που θα επιζήσουν από την ακτινοβολία να έχουν υποστεί βλάβες και κατά τον πολλαπλασιασμό τους να δημιουργήσουν νέα μεταλλαγμένα κύτταρα που πολύ συχνά οδηγούν στην εμφάνιση καρκίνου.

Βλάβες από ακτινοβολία μπορεί να προκληθούν επίσης και στο γενετικό υλικό των γενετικών κυττάρων. Στην περίπτωση αυτή οι αλλαγές των γονιδίων οδηγούν σε μεταβολές διάφορων χαρακτηριστικών των απογόνων του οργανισμού.

**Ως απορροφηθείσα δόση ακτινοβολίας** ορίζεται η ενέργεια που έχει αποτεθεί στους ιστούς ανά χιλιόγραμμα μάζας. Η πιο συνηθισμένη μονάδα μέτρησής της είναι το 1rad, το οποίο ορίζεται ως η ποσότητα ακτινοβολίας που αποθέτει 0,01J ενέργειας ανά χιλιόγραμμα μάζας του ιστού ( $1\text{rad} = 0,01\text{J/kg}$ ).

Η απορροφηθείσα δόση δεν αποτελεί μόνη της μέτρο των βιολογικών επιπτώσεων και αυτό διότι τα βιολογικά αποτελέσματα δεν εξαρτώνται μόνο από τη δόση αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας. Έτσι, για παράδειγμα, μια δεδομένη δόση ακτινοβολίας α προκαλεί δέκα φορές περισσότερες βιολογικές βλάβες από ίση δόση ακτίνων X.

Για να είναι οι δόσεις συγκρίσιμες ως προς τα βιολογικά τους αποτελέσματα, χρησιμοποιείται το μέγεθος **ισοδύναμη δόση** με μονάδα μέτρησής το 1rem και κυρίως το υποπολλαπλάσιό του 1millirem. Παραθέτουμε μερικούς αριθμούς για σύγκριση.

Μία ακτινογραφία θώρακα αποθέτει γύρω στα 20-40mrem για κάθε 5kg ιστού. Ισοδύναμη δόση 500rem σε μικρό χρονικό διάστημα σε ολόκληρο το σώμα συνήθως οδηγεί στο θάνατο μέσα σε λίγες ημέρες. Εντοπισμένη δόση 10000rem προκαλεί πλήρη καταστροφή του ιστού.

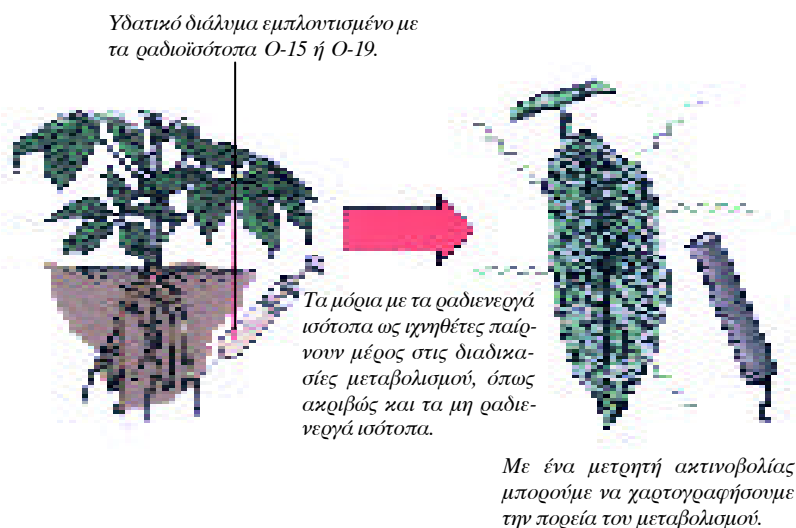
Η κοσμική ακτινοβολία και η φυσική ραδιενέργεια του εδάφους αντιστοιχούν σε ισοδύναμη δόση 0,1rem ανά έτος στην επιφάνεια της θάλασσας. Η τιμή αυτή αυξάνεται με το ύψος.

## B. Χρήσεις της ακτινοβολίας

Ραδιενεργά σωματίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ιχνηθέτες χημικών στοιχείων σε διάφορες αντιδράσεις. Στη Βιολογία το ραδιενεργό ισότοπο  $^{15}\text{O}$ , όταν εισαχθεί κατάλληλα στο ριζικό σύστημα του φυτού, κυκλοφορεί στη συνέχεια μέσα σ' αυτό και μπορούμε, μετρώντας τη ραδιενέργεια στα διάφορα μέρη του, να βγά-



λούμε συμπεράσματα για την πορεία του μεταβολισμού, δηλαδή του συνόλου των αντιδράσεων που γίνονται σε έναν οργανισμό (σχήμα 3-34).



3-34 Η χρήση ραδιοϊσοτόπων ως ιχνηθετών.

Η χρήση του ραδιενεργού ιωδίου για τη μελέτη της λειτουργίας του θυρεοειδούς αδένος είναι επίσης μια γνωστή εφαρμογή. Σχεδόν όλη η διακίνηση του ιωδίου στον οργανισμό μας, που προσλαμβάνεται από το αλάτι και από τις θαλάσσιες τροφές, γίνεται μέσω του θυρεοειδούς. Εισάγεται λοιπόν στον οργανισμό μια μικρή ποσότητα ραδιενεργού ιωδίου ( $^{131}\text{I}$ ) υπό μορφή διαλύματος NaI. Μερικές ώρες αργότερα μετριέται με κατάλληλες συσκευές η ακτινοβολία του  $^{131}\text{I}$  και συνεπώς η συγκέντρωσή του σε διάφορα όργανα του σώματος.

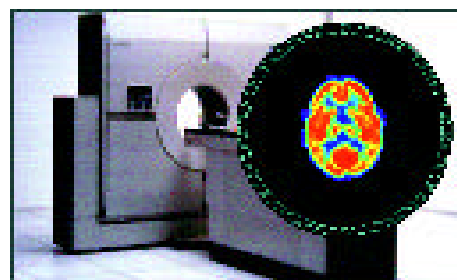
Οι ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται επίσης στην Ιατρική για επιλεκτική καταστροφή ιστών, όπως είναι οι όγκοι. Ως πηγές χρησιμοποιούνται τεχνητά παραγόμενα ισότοπα. Ένα από τα πιο συνηθισμένα είναι το  $^{60}\text{Co}$ .

Μια μέθοδος ιατρικής απεικόνισης, κυρίως του εγκεφάλου, είναι η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET). Με αυτή χορηγούνται στον ασθενή ισότοπα στοιχείων, όπως άνθρακα, οξυγόνου κτλ., που εκπέμπουν ποζιτρόνια με διάσπαση β. Όταν ένα ποζιτρόνιο εξαυλώνεται μετά από σύγκρουση με ηλεκτρόνιο, εκπέμπονται δύο φωτόνια γ, που ανιχνεύονται από κυκλική διάταξη ανιχνευτών γύρω από το κεφάλι του ασθενούς. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια υπολογιστή, σχηματίζεται μια εικόνα εγκάρσιας τομής του εγκεφάλου (σχήματα 3-35, 3-36).

Ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται επίσης για την αποστείρωση και τη συντήρηση μερικών κατηγοριών τροφίμων, αφού με τον τρόπο αυτό καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.



3-35 Ένα ποζιτρόνιο, που εκπέμπεται από το ισότοπο που έχει χορηγηθεί στον ασθενή, συγκρούεται με κάποιο ηλεκτρόνιο ατόμου και δημιουργούνται δύο φωτόνια, τα οποία καταγράφει η συσκευή PET.



3-36 Συσκευή τομογραφίας με εκπομπή ποζιτρονίων. Η εικόνα παριστάνει τομή εγκεφάλου σχηματισμένη από υπολογιστή, ο οποίος επεξεργάζεται τα δεδομένα της συσκευής.

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Ο σκοπός της δραστηριότητας αυτής είναι να δείξει ότι ο εκθετικός νόμος που συναντάμε στις ραδιενεργές διασπάσεις δεν είναι κάποιος φυσικός νόμος των πυρήνων, αλλά ένας στατιστικός νόμος. Στο νόμο αυτό υπακούουν όλα τα φαινόμενα, στα οποία το να συμβεί ένα γεγονός, ανάμεσα σε μια σειρά πιθανών ενδεχομένων, έχει μια συγκεκριμένη πιθανότητα.

### ΠΕΙΡΑΜΑ

**1.** Αγοράστε από το περίπτερο δύο κουτιά από τα μικρά σοκολατάκια M & M's. Βάλτε τα όλα μαζί σε ένα κουτί, ανακινήστε το, ώστε να ανακατευτούν καλά, και αδειάστε το περιεχόμενο σε ένα τραπέζι. Μετρήστε το συνολικό αριθμό των M & M's. Γράψτε τον αριθμό αυτό στο πρώτο κουτάκι της δεύτερης σειράς του πίνακα που φαίνεται παρακάτω.

Αριθμ. μέτρησης	1	2	3	4	5	6	7
M & M's που απέμειναν							

Απομακρύνετε εκείνα τα σοκολατάκια που έχουν στην επάνω όψη τους το M. Μια καλή ιδέα θα ήταν να τα φάτε! Μετρήστε το συνολικό αριθμό που απέμεινε τώρα στο τραπέζι και σημειώστε στο κουτάκι της μέτρησης υπ' αριθμ. 2.

Επαναλάβετε τη διαδικασία αυτή 7 συνολικά φορές. Αν ο αριθμός των M & M's που απομένει γίνει 0 σε κάποια δοκιμή, το πείραμα σταματάει και το 0 δε θα το περιλάβετε στις μετρήσεις σας.

**2.** Χαράξτε τη γραφική παράσταση, όπου στον άξονα X θα βάλετε τον αντίστοιχο αριθμό της μέτρησης και στον άξονα Y τα σοκολατάκια που απέμειναν κάθε φορά. Παρατηρήστε την εκθετική μορφή της συνάρτησης.

**3.** Δοκιμάστε να χαράξετε στους ίδιους άξονες την εκθετική καμπύλη

$$N = N_0 e^{-0,5X}$$

όπου  $N_0$  ο αρχικός αριθμός των M & M's. Συγκρίνετε τις δύο καμπύλες.

**Σημείωση:** Ο εκθέτης 0,5 είναι η πιθανότητα να εμφανιστεί το M στην επάνω όψη από κάθε σοκολατάκι σε κάθε ρίψη. Αντιστοιχεί στη σταθερά λ των πυρήνων, η οποία εκφράζει την πιθανότητα διάσπασής του.

## ΣΥΝΟΨΗ 3ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- ❑ Ο πυρήνας του ατόμου αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Βρίσκεται στο κέντρο του ατόμου και έχει ακτίνα μερικές δεκάδες χιλιάδες φορές μικρότερη από την ακτίνα του ατόμου.
- ❑ Η ταυτότητα ενός πυρήνα είναι ο ατομικός του αριθμός  $Z$  και ο μαζικός του αριθμός  $A$ . Πυρήνες με ίδιους ατομικούς αριθμούς λέγονται ισότοποι.
- ❑ Η μάζα ενός πυρήνα είναι πάντα μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των ελεύθερων νουκλεονίων που τον αποτελούν. Η διαφορά αυτή των μαζών ονομάζεται έλλειμμα μάζας. Δηλαδή ισχύει:

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\Pi}$$

- ❑ Η ισοδύναμη ενέργεια  $E_B$  που αντιστοιχεί στο έλλειμμα μάζας ονομάζεται ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα. Δηλαδή ισχύει:

$$E_B = (\Delta M)c^2$$

- ❑ Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο σε έναν πυρήνα τόσο σταθερότερος είναι ο πυρήνας αυτός.
- ❑ Η δύναμη που συγκρατεί τα νουκλεόνια στον πυρήνα είναι η ισχυρή πυρηνική δύναμη, που δρα μόνο σε πολύ κοντινές αποστάσεις μεταξύ των γειτονικών νουκλεονίων.
- ❑ Η ενέργεια του πυρήνα είναι κβαντωμένο μέγεθος. Ο πυρήνας έχει διακριτές ενεργειακές στάθμες.
- ❑ Σε κάθε σωματίο αντιστοιχεί το αντισωματίο του. Όταν αυτά συνενωθούν, εξαυλώνονται και μετατρέπονται σε φωτόνια ή δημιουργούνται άλλα σωματίδια.
- ❑ Τα νουκλεόνια αποτελούνται από quarks up και down, που φέρουν ως φορτία κλάσματα του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου. Τα quarks δεν εμφανίζονται ελεύθερα.
- ❑ Τα λεπτόνια είναι 6 σωματίδια που δεν εκδηλώνουν ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Στην ομάδα αυτή ανήκουν το ηλεκτρόνιο και το νεutrίνο.
- ❑ Οι θεμελιώδεις δυνάμεις είναι: η ισχυρή, η ηλεκτρομαγνητική, η ασθενής και η βαρυτική. Οι αλληλεπιδράσεις σε θεμελιώδες επίπεδο ερμηνεύονται με ανταλλαγή σωματιδίων που είναι φορείς των δυνάμεων.
- ❑ Οι πιο πολλοί πυρήνες είναι ασταθείς και μεταπίπτουν σε σταθερούς πυρήνες με διασπάσεις  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ . Το φαινόμενο ονομάζεται ραδιενέργεια.
- ❑ Στην πυρηνική σχάση ένας βαρύς πυρήνας με απορρόφηση νετρονίων χωρίζεται σε δύο μεγάλα θραύσματα και ελευθερώνονται νέα νετρόνια. Η σχάση είναι αντίδραση εξώθερμη.
- ❑ Στην πυρηνική σύντηξη δύο ελαφροί πυρήνες συνενώνονται, για να σχηματίσουν ένα βαρύτερο. Η αντίδραση αυτή είναι εξώθερμη.
- ❑ Οι πυρηνικές ακτινοβολίες προκαλούν βλάβες, αλλά βρίσκουν και πολλές χρήσεις στην Ιατρική, στη βιομηχανία, στη Γεωπονία κτλ.



## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τι ονομάζουμε ισότοπους πυρήνες; Σε τι μοιάζουν τα ισότοπα ενός στοιχείου X;
2. i. Ποιοι από τους παρακάτω πυρήνες περιέχουν τον ίδιο αριθμό:
  - πρωτονίων,
  - νετρονίων,
  - νουκλεονίων;
 ii. Ποιοι περιστοιχίζονται από τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων στο ουδέτερο άτομο;  
 iii. Ποιοι είναι ισότοπα του ίδιου στοιχείου;  
 (α)  $^{12}_6\text{C}$ , (β)  $^{14}_6\text{C}$ , (γ)  $^{13}_6\text{C}$ , (δ)  $^{14}_7\text{N}$ , (ε)  $^{16}_8\text{O}$ , (ζ)  $^{17}_8\text{O}$
3. Τι ονομάζουμε ενέργεια σύνδεσης ενός πυρήνα;
4. Ο πυρήνας X έχει ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο 8,8 MeV, ενώ ο πυρήνας Y έχει ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο 7,6 MeV. Ποιος από τους δύο είναι πιο σταθερός;
5. Συμπληρώστε τα κενά στο παρακάτω κείμενο:  
 Η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές για πυρήνες ..... μαζικών αριθμών. Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια σύνδεσης ενός πυρήνα τόσο ..... είναι ο πυρήνας.  
 Ένας πυρήνας με μεγάλο μαζικό αριθμό έχει ..... ενέργεια σύνδεσης από έναν πυρήνα μεσαίου μαζικού αριθμού και μπορεί να ..... σε δύο μεσαίους πυρήνες ..... ενέργεια υπό μορφή ..... των θραυσμάτων.
6. Στο πείραμα του Rutherford υποθέστε ότι ένα σωματίο α μικρής κινητικής ενέργειας κατευθύνεται μετωπικά προς τον πυρήνα ενός ατόμου. Γιατί το σωματίο δεν έρχεται σε επαφή με τον πυρήνα;
7. Πώς εξηγείται το ότι ένας πυρήνας δε διασπάται, αν και τα πρωτόνια του απωθούνται αμοιβαία μεταξύ τους;
8. Ποιες είναι οι σημαντικότερες ιδιότητες της ισχυρής πυρηνικής δύναμης;
9. Να αντιστοιχίσετε τις διάφορες αλληλεπιδράσεις με τα σωματίδια φορείς τους:
 

(α) ισχυρή	(Α) φωτόνιο
(β) ασθενής	(Β) βαρυτόνιο
(γ) βαρυτική	(Γ) $W^+$ , $W^-$ , $Z^0$
(δ) ηλεκτρομαγνητική	(Δ) γκλουόνιο
10. Το περιεχόμενο σε quarks του νετρονίου είναι udd. Ποιο είναι το περιεχόμενο σε quarks του αντινετρονίου; Το νετρόνιο και το αντινετρόνιο ταυτίζονται;
11. Ποια στοιχειώδη σωματίδια υπάρχουν στην ύλη που παρατηρούμε σήμερα στο Σύμπαν;
12. Χαρακτηρίστε καθεμιά από τις παρακάτω προτάσεις ως σωστή ή λάθος:
  - α. Ένα ποζιτρόνιο και ένα ηλεκτρόνιο εξαϋλώνονται και στη θέση τους παράγεται ένα φωτόνιο.
  - β. Ένα λεπτόνιο ( $\mu$ ) αλληλεπιδρά με ένα πρωτόνιο με ισχυρή αλληλεπίδραση ανταλλάσσοντας ένα γκλουόνιο.
  - γ. Τα λεπτόνια είναι συνολικά έξι, εκ των οποίων τα τρία μόνο έχουν ηλεκτρικό φορτίο.
  - δ. Ένα αδρόνιο αποτελείται από τα παρακάτω quarks: (u, d).
  - ε. Σε κάθε στοιχειώδες σωματίδιο αντιστοιχεί και ένα αντισωματίδιο.
13. Ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο με αμελητέες κινητικές ενέργειες εξαϋλώνονται και σχηματίζονται δύο φωτόνια. Πόση ενέργεια έχουν συνολικά τα δύο φωτόνια;
14. Συμπληρώστε τα κενά στο παρακάτω κείμενο:  
 Τα νουκλεόνια δομούνται από .....  
 Τα λεπτόνια είναι μια ξεχωριστή κατηγορία στοιχειωδών σωματιδίων, που δε συμμετέχουν σε ..... αλληλεπιδράσεις. Τα ..... είναι οι φορείς των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων. Δύο quarks αλληλεπιδρούν ισχυρά ανταλλάσσοντας ένα .....
15. Τι είναι η μεταστοιχείωση;

**16.** Ποιο φαινόμενο ονομάζεται ραδιενέργεια; Ποια είδη ραδιενεργών ακτινοβολιών υπάρχουν;

**17.** Τι ονομάζουμε χρόνο ημιζωής ενός ραδιενεργού πυρήνα;

**18.** Γιατί, όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός των πυρήνων, χρειάζεται να υπάρχουν όλο και περισσότερα νετρόνια, για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα των πυρήνων;

**19.** Ένα φιλμ που βρίσκεται μέσα σε ένα κουτάκι από παχύ χαρτόνι κινδυνεύει να προσβληθεί από παρακείμενες πηγές:

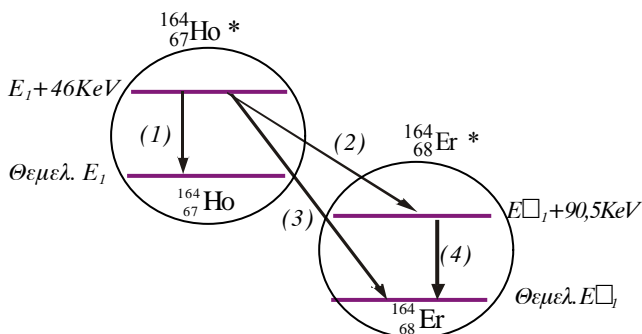
- ακτίνων α
- ακτίνων γ
- ακτίνων β

**20.** Υποθέστε ότι μία δέσμη περιέχει σωματίδια α, β και γ, τα οποία θέλουμε να διαχωρίσουμε. Υποδείξτε κατάλληλο πειραματικό τρόπο.

**21.** Ποιος πυρήνας θα προέλθει από τη διάσπαση-β<sup>-</sup> ενός πυρήνα  $^{14}_6\text{C}$ ;

**22.** Το παρακάτω σχήμα δείχνει διαφορετικές διασπάσεις μιας αρχικά διεγερμένης κατάστασης του πυρήνα  $^{164}_{67}\text{Ho}$ , η οποία διασπάται κατά διάφορους τρόπους:

- Χαρακτηρίστε καθεμιά από αυτές ως διάσπαση α, διάσπαση β και διάσπαση γ.
- Για όποιες από αυτές είναι διασπάσεις γ υπολογίστε τις αντίστοιχες ενέργειες των φωτονίων που παράγονται.
- Για όποιες από αυτές είναι διασπάσεις β συμπληρώστε τις αντίστοιχες αντιδράσεις.



**23.** Ποιες πυρηνικές αντιδράσεις ονομάζουμε σχάσεις και ποιες συντήξεις;

**24.** Σε τι διαφέρει ο μηχανισμός σχάσης που γίνεται σε έναν αντιδραστήρα από το μηχανισμό σχάσης σε μια πυρηνική βόμβα;

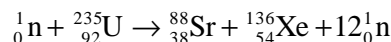
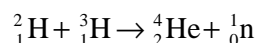
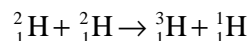
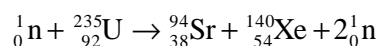
**25.** Σε οποιαδήποτε πυρηνική αντίδραση ισχύουν οι παρακάτω ιδιότητες:

α. Το άθροισμα των ατομικών αριθμών στο πρώτο και στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης είναι ίσο.

β. Το άθροισμα των μαζικών αριθμών στο πρώτο και στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης είναι ίσο.

Εξηγήστε ποιοι βασικοί νόμοι διατήρησης δικαιολογούν τις ιδιότητες αυτές.

**26.** Ποιες από τις παρακάτω αντιδράσεις είναι πυρηνικές συντήξεις και ποιες πυρηνικές σχάσεις;



## Α Σ Κ Η Σ Ε Ι Σ Κ Α Ι Π Ρ Ο Β Λ Η Μ Α Τ Α

Για τα προβλήματα να θεωρηθούν γνωστά τα παρακάτω φυσικά μεγέθη:

$$\beta \text{ qB} = \beta \text{ qB} = 1,6 \times 10^{19} \text{C}$$

$$m_p = 1,6726 \times 10^{-27} \text{kg} = 1,007277 \text{u}$$

$$m_n = 1,6750 \times 10^{-27} \text{kg} = 1,008665 \text{u}$$

$$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{kg} = 5,486 \times 10^{-4} \text{u}$$

$$\text{Μάζα του ουδέτερου ατόμου } {}^1_1\text{H} = 1,00783 \text{u}$$

$$\text{Μάζα του ουδέτερου ατόμου } {}^7_3\text{Li} = 7,01600 \text{u}$$

$$\text{Μάζα του ουδέτερου ατόμου } {}^4_2\text{He} = 4,00260 \text{u}$$

$$\text{Μάζα του ουδέτερου ατόμου } {}^{56}_{26}\text{Fe} = 55,934939 \text{u}$$

$$\text{Μάζα του ουδέτερου ατόμου } {}^{230}_{90}\text{Th} = 230,033128 \text{u}$$

$$\text{Μάζα του ουδέτερου ατόμου } {}^{226}_{88}\text{Ra} = 226,025403 \text{u}$$

$$1 \text{u} = 1,66055 \times 10^{-27} \text{kg}$$

$$\text{Αριθμός Avogadro} = 6,023 \times 10^{23} \text{ πυρήνες/mole πυρήνων, } 1 \text{MeV} = 4,45 \times 10^{-20} \text{KWh και } c = 3 \times 10^8 \text{m/s.}$$

**1.** Χρησιμοποιήστε ενεργειακές μεθόδους, για να υπολογίσετε την ελάχιστη απόσταση που μπορεί να πλησιάσει ένα σωματίδιο α το οποίο βάλλεται μετωπικά από πολύ μακριά, με αρχική ενέργεια 0,5 MeV, εναντίον ενός ακίνητου πυρήνα  ${}^{197}_{79}\text{Au}$ . Υποθέστε ότι ο πυρήνας παραμένει σε ηρεμία κατά την κρούση. Πόση θα ήταν η απόσταση αυτή, αν η ενέργεια του σωματίου ήταν 3,5 MeV;

**2.** Υπολογίστε την ενέργεια σύνδεσης και την ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο για τον πυρήνα  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ .

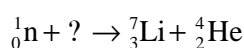
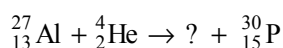
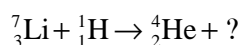
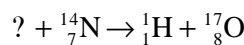
**3.** Ο χρόνος ημιζωής του  ${}^{131}\text{I}$  είναι 8,04 ημέρες. Υπολογίστε τη σταθερά διάσπασης του ισότοπου αυτού. Βρείτε επίσης τον αριθμό των πυρήνων  ${}^{131}\text{I}$  που περιέχονται σε ένα δείγμα ενεργότητας  $1,85 \times 10^4 \text{Bq}$ .

**4.** Ένα δείγμα κάποιου ραδιοϊσότοπου, μόλις παρασκευαστεί, έχει ενεργότητα  $37 \times 10^7 \text{Bq}$ . Μετά από 4 ώρες η ενεργότητα του δείγματος έγινε  $29,6 \times 10^7 \text{Bq}$ . Βρείτε τη σταθερά διάσπασης και το χρόνο ημιζωής του ισότοπου.

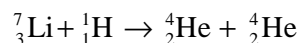
Ποια θα είναι η ενεργότητα του δείγματος 30 ώρες μετά την παρασκευή του;

**5.** Υπολογίστε την κινητική ενέργεια ενός σωματίου α που εκπέμπεται από ένα ακίνητο πυρήνα  ${}^{230}_{90}\text{Th}$ . Αγνοήστε την κινητική ενέργεια του θυγατρικού πυρήνα  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ .

**6.** Συμπληρώστε τις παρακάτω πυρηνικές αντιδράσεις:



**7.** Η πρώτη πυρηνική αντίδραση στην οποία χρησιμοποιήθηκαν σωματίδια προερχόμενα από επιταχυντή πραγματοποιήθηκε από τους Cockroft και Walton και ήταν η παρακάτω:



Υπολογίστε την τιμή της ενέργειας Q αυτής της αντίδρασης. Είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη;

**8.** Υπολογίστε την ενέργεια που αποδεσμεύεται, όταν  $1 \text{kg } {}^{235}\text{U}$  παθαίνει σχάση. Λάβετε υπόψη ότι η ενέργεια που αποδεσμεύεται ανά πυρήνα που διασπάται είναι 208 MeV.

## ΕΓΚΩΜΙΟ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η επιστήμη ανταποκρίνεται κατ' αρχάς σε μια ανάγκη που χαρακτηρίζει τον άνθρωπο ως άνθρωπο: την ανάγκη να γνωρίσει. Να ανακαλύψει τους θεμελιώδεις νόμους της φύσης, που διέπουν τον κόσμο στον οποίο ζούμε. Να παρατηρήσει, να ταξινομήσει τα παρατηρούμενα φαινόμενα, να φέρει στην επιφάνεια το απόλυτο και το αναλλοίωτο, μελετώντας τα φαινόμενα κάτω από ειδικές και ασυνήθιστες συνθήκες, δημιουργημένες από την ανθρώπινη ευφυΐα, αυτή είναι η ψυχή της βασικής έρευνας. Αυτή η έρευνα αναπτύσσεται, και πρέπει να αναπτυχθεί, με σκοπό να αυξάνει και να καθιστά ακριβέστερες τις γνώσεις.

Ωστόσο, ακόμη και αν αυτό μπορεί να φανεί παράδοξο, από αυτή την ελεύθερη έρευνα, πέρα από κάθε ιδέα εφαρμογής, γεννιούνται οι νέες ιδέες οι οποίες επιτρέπουν ακριβώς τις επιπλέον αποτελεσματικές εφαρμογές. Ο πρώτος στόχος της επιστήμης δεν είναι η εφαρμογή. Είναι, το επαναλαμβάνω, η καλύτερη κατανόηση των αιτιών και των νόμων που διέπουν τις φυσικές διαδικασίες. Αλλά μια καλύτερη κατανόηση των φυσικών διαδικασιών οδηγεί σχεδόν πάντοτε στη δυνατότητα να τις ελέγξουμε ή, τουλάχιστον, να ελέγξουμε άλλες διαδικασίες, οι οποίες σχετίζονται με αυτήν που είναι το αντικείμενο της έρευνας. Όπως είναι γνωστό, όσο η επιστήμη αναπτύσσεται τόσο περισσότερες και στενότερες γίνονται οι σχέσεις που καθορίζονται μεταξύ των διαδικασιών οι οποίες αρχικά έμοιαζαν να μην έχουν καμία συγγένεια.

Η μελέτη του ηλιακού στέμματος, για παράδειγμα, μπορεί να οδηγήσει σε μια καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των ισχυρά ιονισμένων αερίων μέσα σε μαγνητικά πεδία. Και αυτό το θέμα αποδεικνύεται ότι έχει μεγάλη τεχνολογική σημασία. Αλλά οι αστροφυσικοί, που παρήγαγαν αυτές τις τεχνολογικά χρήσιμες γνώσεις, δεν είχαν καθόλου ως στόχο αυτή την εφαρμογή. Η εφαρμοσμένη έρευνα είναι εκείνη που μπόρεσε να επωφεληθεί, λίγο αργότερα, από τα αποτελέσματά τους, αξιοποιώντας ένα μέρος τους στη βιομηχανία.

Πρόσφατα ο H. Casimir έδειξε με εξαιρετικό τρόπο ότι οι αποφασιστικές τεχνικές προόδους του 20ού αιώνα έχουν πραγματοποιηθεί από επιστήμονες οι οποίοι σε καμία περίπτωση δεν εργάζονταν έχοντας ένα σαφώς καθορισμένο πρακτικό στόχο.

«Θα μπορούσε κανείς να αναρωτηθεί», γράφει για παράδειγμα, «αν οι υπολογιστές εφευρέθηκαν από ανθρώπους οι οποίοι ήθελαν να κατασκευάσουν υπολογιστές. Όμως προκύπτει ότι επινοήθηκαν γύρω στο 1930 από φυσικούς που ασχολούνταν με στοιχειώδη σωματίδια, επειδή ενδιαφέρονταν για την Πυρηνική Φυσική. Θα μπορούσε κανείς να αναρωτηθεί αν κάποιος ανακάλυψε τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα θέλοντας να βελτιώσει τα μέσα επικοινωνίας. Δε συνέβη όμως αυτό. Ανακαλύφθηκαν από το Hertz, που επιθυμούσε να προβάλει την ομορφιά της Φυσικής και στηριζόταν στις θεωρητικές διαπιστώσεις του Maxwell».

Ο Casimir πολλαπλασιάζει τα παραδείγματα και συμπεραίνει ότι «στον 20ό αιώνα σχεδόν δεν υπάρχει παράδειγμα καινοτομίας που να μην οφείλεται στη βασική επιστημονική σκέψη». Συμμερίζομαι την άποψή του. Επιπλέον προσθέτω ότι η ερμηνεία αυτού του γεγονότος είναι απλή: ο πειραματισμός και η παρατήρηση στα όρια της επιστήμης απαιτούν τεχνικά μέσα τα οποία υπερβαίνουν τις δυνατότητες της υπάρχουσας τεχνολογίας. Γι' αυτό ένας αριθμός σημαντικών τεχνολογικών επινοήσεων έχει ως αφετηρία όχι την επιθυμία επίτευξης ενός ορισμένου πρακτικού σκοπού, αλλά τις απόπειρες διεύρυνσης των ορίων της γνώσης.

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από αυτές τις γενικές σκέψεις είναι πολύ συγκεκριμένα και φλέγοντα σε ό,τι αφορά την έρευνα στη Φυσική, ειδικά στη Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων και στην Αστροφυσική. Πράγματι είναι γνωστό ότι ο αναγκαίος εξοπλισμός για την παρατήρηση της συμπεριφοράς των στοιχειωδών σωματιδίων ή για τη μελέτη των ορίων του Σύμπαντος αποδεικνύεται εξαιρετικά δαπανηρός. Τα τεράστια κονδύλια που χρειάζονται ξεπερνούν συχνά τις δυνατότητες μας και μόνο χώρας. Εάν έχει κανείς, όπως όντως έχουν ορισμένοι, μια τεχνολογική άποψη της επιστήμης, θα αναρωτηθεί: «γιατί;» Τα μεσόνια και τα κουάρκ δεν εμφανίζονται παρά μόνο όταν η ύλη υποβληθεί σε μια εξαιρετικά υψηλή ενέργεια, που δεν είναι συνήθως εφικτή στη Γη: θα ήταν προτιμότερο να επενδύσουμε αυτά τα κολοσσιαία ποσά σε έρευνες πλησιέστερες προς τις οικονομικές και κοινωνικές μας φροντίδες.

Γι' αυτούς τους ίδιους λόγους η παραπάνω συλλογιστική είναι λανθασμένη, ακόμη και επικίνδυνη. Διότι, αναμφίβολα, από αυτές τις έρευνες θα προκύψουν κάποτε ευεργετικές εφαρμογές, αν τουλάχιστον η ανθρώπινη σύνεση τις προφυλάξει από τον παραλογισμό. Η τεχνητή ραδιενέργεια έφερε επαναστατικές αλλαγές σε πολλούς κλάδους της Ιατρικής. Η διαδικασία της σχάσης είναι μια πηγή ενέργειας που η χρήση της συνεχώς διευρύνεται, είτε για καλό είτε για κακό σκοπό. Όλα οδηγούν στο να πιστέψουμε ότι στο μέλλον η Αστροφυσική και η Φυσική στοιχειωδών σωματιδίων, επειδή θα έχουν αφαιρέσει άλλο ένα μέρος του πέλλου που καλύπτει το άγνωστο, θα έχουν συγκρίσιμα, αν και μη προβλέψιμα αποτελέσματα. Ποιος ξέρει αν ορισμένες από τις δυσκολίες που γεννιούνται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας δε θα μπορέσουν να λυθούν χάρις σ' αυτές τις έρευνες;

Θα μου επιτραπεί να προσθέσω, για να ολοκληρώσω, ότι η ανάπτυξη της βασικής έρευνας πρέπει να θεωρηθεί ως ένα είδος καθήκοντος: η ανθρώπινη περιπέτεια αντιστοιχεί, αυτή τη στιγμή, στην περιπέτεια του Σύμπαντος, όπου η φύση, με τη μορφή του ανθρώπου, αρχίζει να κατανοεί τον εαυτό της. Από γενιά σε γενιά, χωρίς ανάπαυλα, πέρα από σύνορα, έχουμε χρέος να συμβάλουμε με μια συλλογική προσπάθεια στη διεύρυνση και στην εμβάθυνση αυτής της κατανόησης. Ίσως είναι μια από τις αρετές της βαριάς Φυσικής το γεγονός ότι έχει επιτρέψει την απόκτηση μιας τέτοιας συνείδησης, διότι απαιτούσε τη συνένωση διανοητών και τη συγκέντρωση κεφαλαίων από όλες τις χώρες.

Απόσπασμα από το βιβλίο *Η κβαντική επανάσταση* του Victor Weisskopf.